

NATIONALGEOGRAPHIC.COM.ES | OCTUBRE 2024

NATIONAL GEOGRAPHIC

LA REVOLUCIÓN DE LA MEDICINA

GEMELOS DIGITALES,
NANOROBOTS E
INTELIGENCIA ARTIFICIAL
PARA CURAR LO QUE
HASTA AHORA ERA
INCURABLE

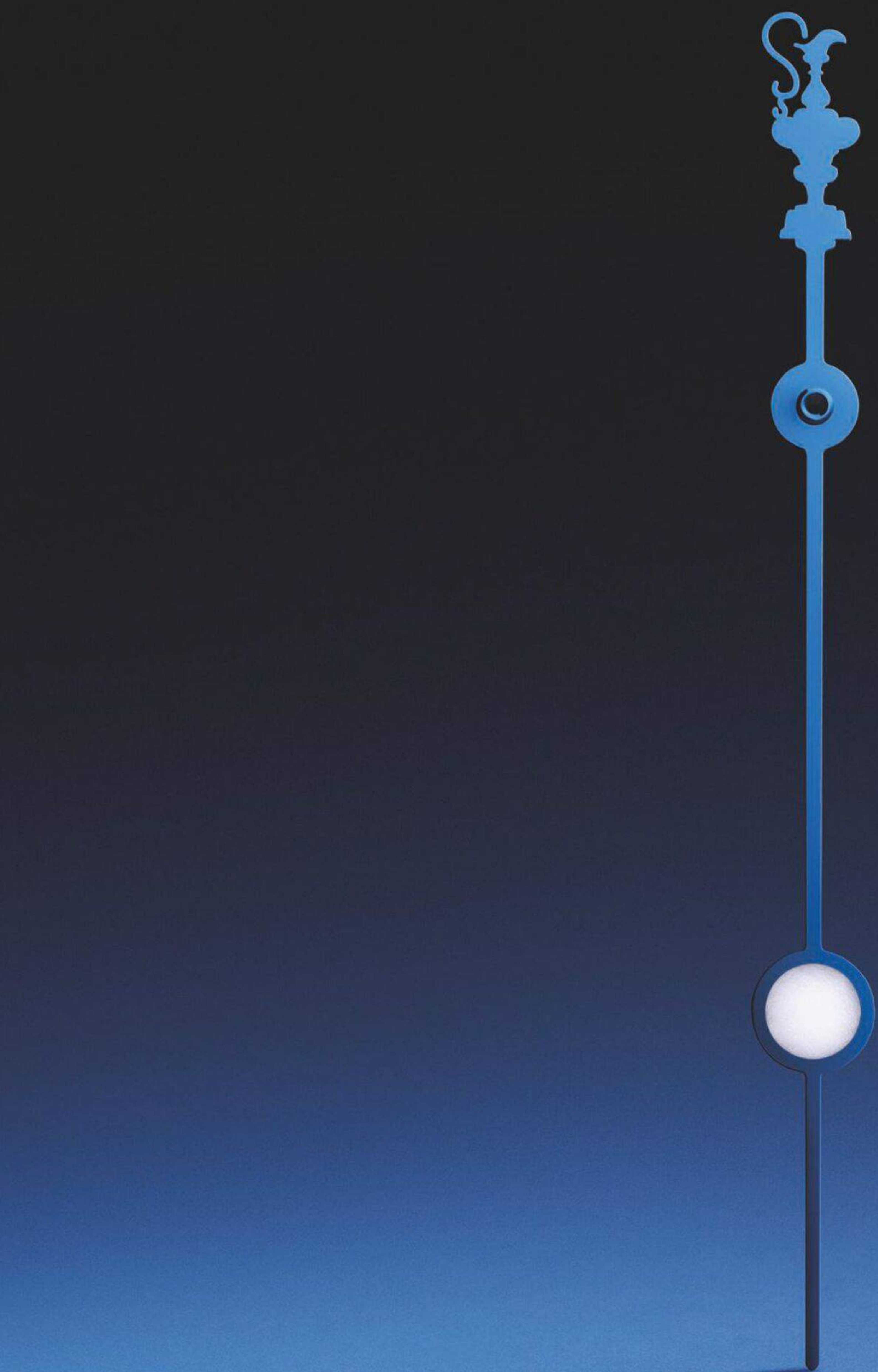
50 DIAS SOLO EN UNA
ISLA DEL MAR DEL NORTE

EL FABULOSO MUNDO
DE LOS HONGOS

LA NECRÓPOLIS DE CUANDO
EL SAHARA ERA VERDE

6,00€ PVP CANARIAS 6,15€







SEAMASTER DIVER 300M
Co-Axial Master Chronometer

UN GANADOR. UN CRONOMETRADOR

Cuando los barcos despliegan sus velas en Barcelona, OMEGA medirá cada maniobra con una precisión de fracciones de segundo. Una vez más, hemos sido seleccionados como Firma Cronometradora Oficial. Este impresionante Master Chronometer conmemora nuestro papel en la 37 edición de la prestigiosa regata. Un merecido homenaje con un legendario trofeo.





SKY TOWN 125 ABS

PVP: 2.999 €, MATRÍCULA INCLUIDA.

La ciudad marca su ritmo, dicta sus horarios y establece sus normas. Pero con el nuevo **Sky Town 125 ABS**, serás tú quien defina las reglas. Su diseño ofrece una agilidad y confort sin límites. Además, la gran capacidad del baúl que incluye de serie y la incontestable seguridad de su doble ABS te aportarán comodidad y confianza a partes iguales. Desde ahora, tendrás todo lo necesario para tener la ciudad a tus pies. Lista para ser tuya.

*¿Es tu ciudad
o la ciudad es tuya?*



KYMCO
Dondequiera que vayas

Nuevo Hyundai KONA

Gama híbrida y eléctrica.

KONA híbrido
desde

180 €/mes

- 47 cuotas de 180€.
- Entrada: 9.501€.
- Última cuota: 13.714,61€.
- **TAE: 8,07%***
- TIN: 6,49%



El Nuevo Hyundai KONA llega para ayudarte a superar tus límites. Ahora más grande, más atrevido y más dinámico. Elegantemente esculpido, el diseño futurista del Nuevo KONA combina un frontal limpio y distintivo con líneas aerodinámicas fluidas. Además, incorpora las últimas novedades en tecnología como la llave digital de Hyundai, con la que podrás abrir tu KONA con tu smartphone. Todas estas características, unidas a una mayor habitabilidad, han hecho que el nuevo KONA haya sido elegido Mejor Coche del Año 2024.

Descubre su gama híbrida y eléctrica, y ya solo te quedará elegir cuál es el que mejor se adapta a ti y disfrutarlo, yendo más allá de lo establecido.

Supera tus límites.



5 AÑOS **Garantía**
sin límite de km

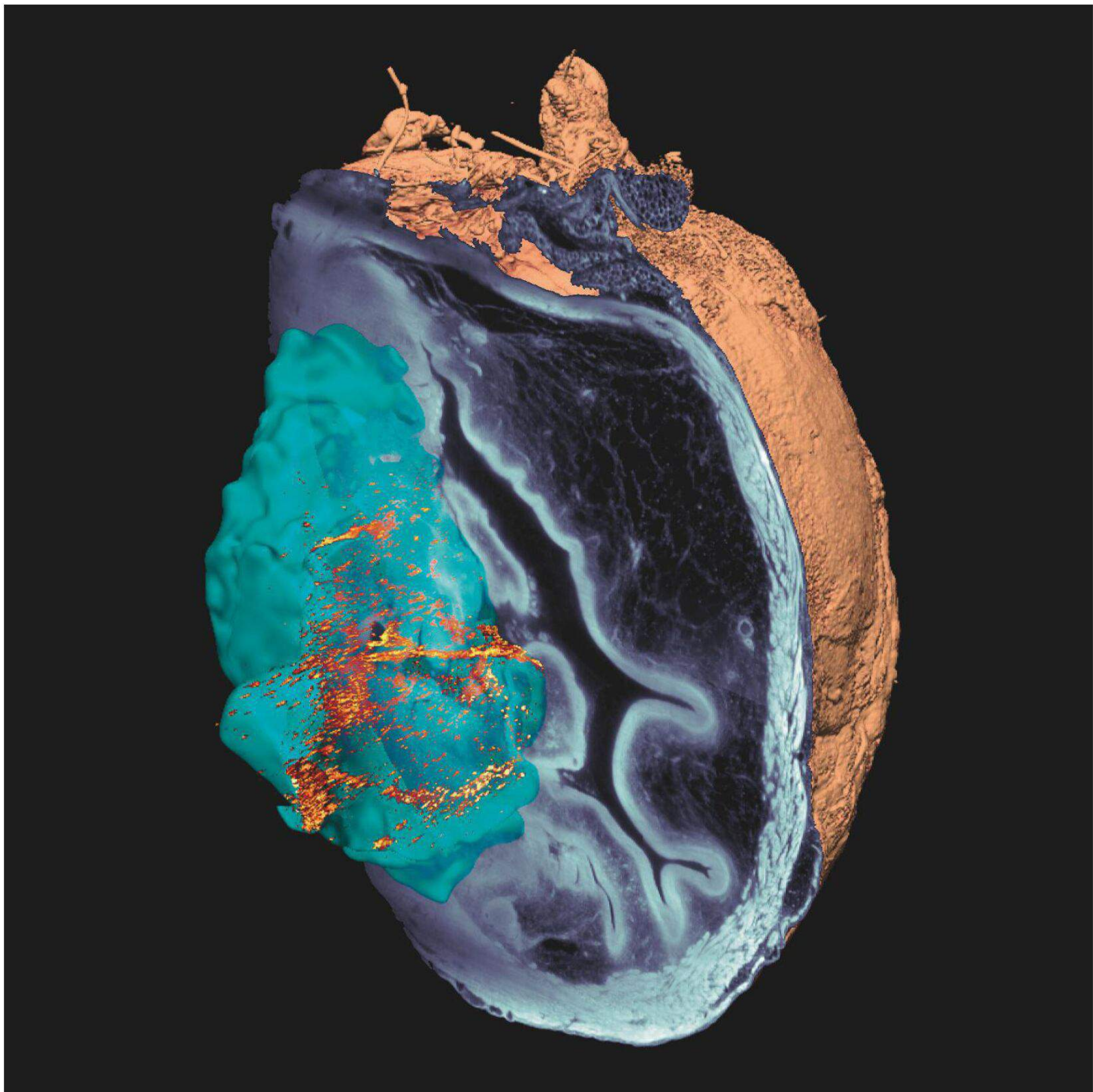
8 AÑOS **Garantía de**
Batería

Gama Nuevo Hyundai KONA (Combustión, HEV y EV): Emisiones CO₂ combinadas (gr/km): 0-159. Consumo combinado (l/100km): 4,5-7. Consumo eléctrico (Wh/km): 146 (batería 48 kWh) – 166 (batería 65 kWh). Valores de consumos y emisiones obtenidos según el nuevo ciclo de homologación WLTP.

Modelo visualizado: Nuevo Hyundai KONA N Line. *Ejemplo de financiación para Hyundai KONA 1.0T 100CV 48V MAXX PVP: 30.540€. Precio financiando: 27.540€. Incl. IVA, transporte, impto. Matriculación, descuento promocional, aportación de concesionario y Plan Renove de Hyundai aplicable por la entrega de un vehículo usado bajo titularidad del comprador durante al menos los 6 meses previos a la fecha de

compra de un vehículo Hyundai. Entrada: 9.501€. Comisión de formalización (3,95%) al contado: 712,54€. Importe financiado: 18.039€. 47 cuotas de 180€ y una última cuota de 13.714,61€. Total intereses: 4.135,61€. Coste total del crédito: 4.848,15€. Importe total adeudado: 22.887,15€. Precio total a plazos: 32.388,15€. TIN 6,49% TAE 8,07%. Sistema de amortización francés. Financiando con Hyundai Finance a través de Banco Cetelem hasta el 31/10/2024. La garantía comercial de 5 años sin límite de kilometraje y la de 8 años o 160.000 km. (lo que antes suceda) para la batería de alto voltaje, ofrecidas por Hyundai Motor España S.L.U a sus clientes finales, es sólo aplicable a los vehículos Hyundai vendidos originalmente por la red oficial de Hyundai, según los términos y condiciones del pasaporte de servicio. Más información en la red de concesionarios Hyundai o en [hyundai.es](https://www.hyundai.es)

SUMARIO



2 LA REVOLUCIÓN DE LA MEDICINA
La inteligencia artificial y la tecnología de precisión han transformado el escenario de la medicina: llegan los gemelos digitales, los nanorrobots, los sofisticados *wearables*, la computación para desentrañar los misterios de las proteínas y curar lo que hasta ahora era incurable. Llega, por fin, la verdadera medicina personalizada.

Texto de CRISTINA SÁEZ

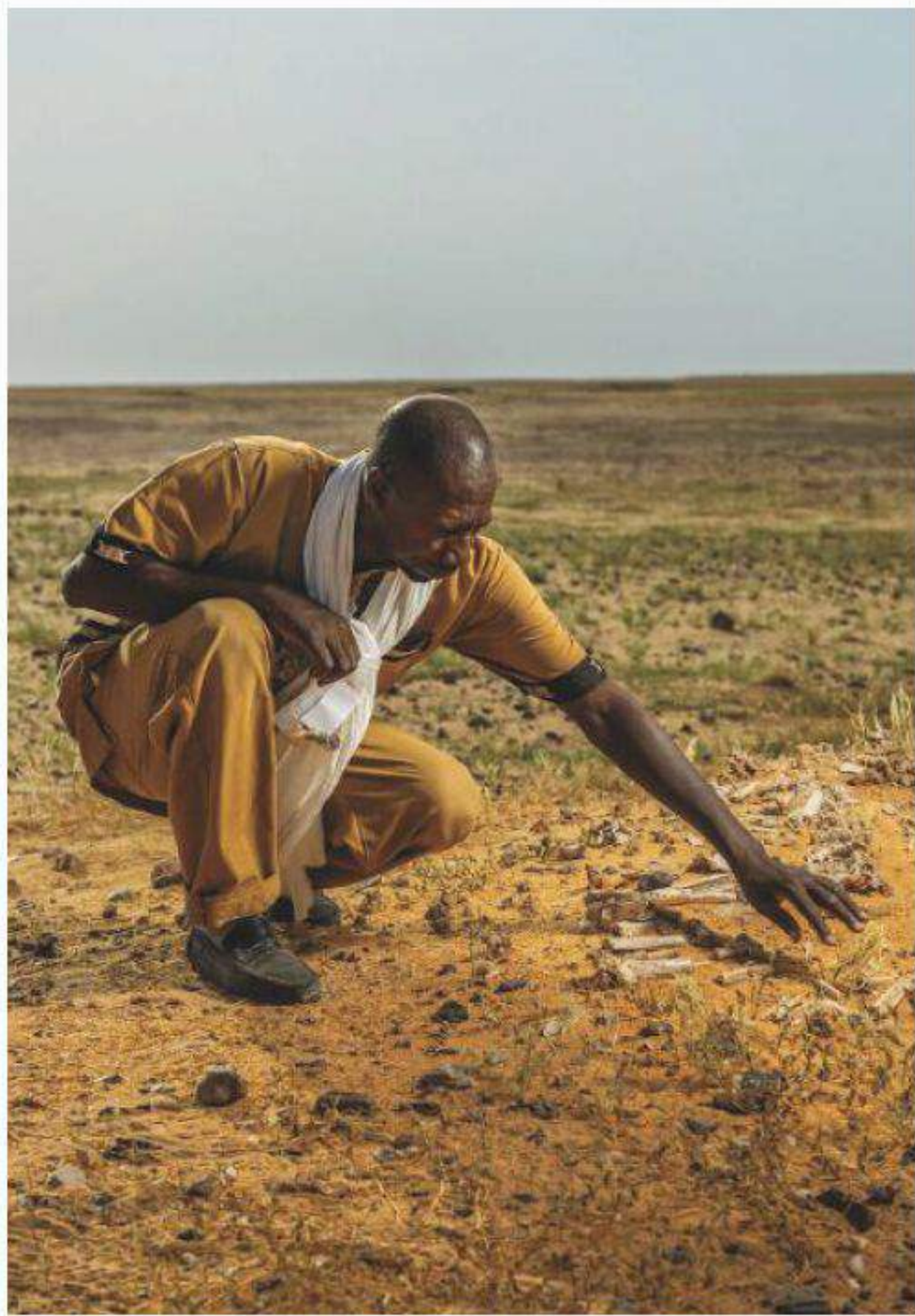
EN PORTADA

Los tratamientos con células modificadas genéticamente se cuentan entre las grandes apuestas de la medicina del futuro.

Ilustración:

Sergey Nivens/Adobe Stock

REPORTAJES



32

LOS SECRETOS DE UN CEMENTERIO SAHARIANO

Hace dos décadas un paleontólogo halló en el desierto la mayor necrópolis africana de la Edad de Piedra, de los tiempos en que el Sahara era verde.

Texto de PETER GWIN
Fotografías de PAOLO VERZONE
y REBECCA HALE

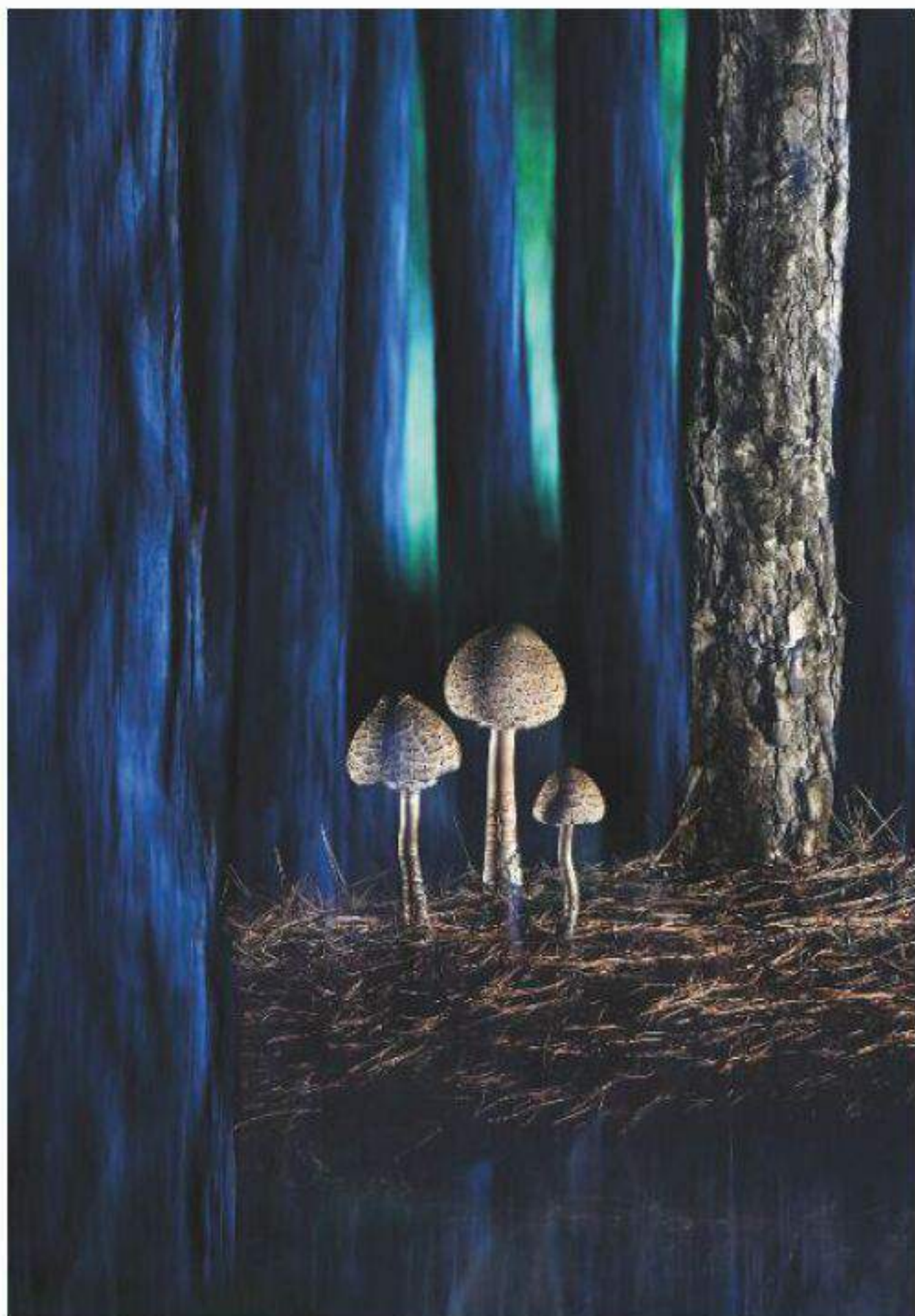


52

LA ISLA DEL TESORO DEL MAR DEL NORTE

El fotógrafo Jasper Doest pasó casi dos meses aislado en una isla neerlandesa deshabitada. Aparte de sus tesoros naturales, allí descubrió la extraordinaria belleza de la soledad.

Texto y fotografías de JASPER DOEST



64

EL MARAVILLOSO MUNDO DE LOS HONGOS

Viven en nuestro organismo y en todo lo que nos rodea. Conocerlos mejor abre un mundo de posibilidades.

Texto de NICK MARTIN, SARAH GIBBENS, JASON TREAT, LANGDON COOK y GIRI NATHAN
Fotografías de AGORASTOS PAPATSANIS y PHYLLIS MA

SECCIONES

VISIONES

EXPLORA

Un nuevo felino
Santander, Capital Natural

EXPERIENCIAS NG

La Draga

INSTINTO BÁSICO

En el mundo de las jacanas,
las chicas son guerreras

EDITORIAL

EN TELEVISIÓN

PRÓXIMO NÚMERO



Envíanos tus cartas o comentarios a forum-ngme@rba.es



Síguenos en X en [@NatGeoEsp](https://twitter.com/NatGeoEsp)



Hazte fan de nuestra página de Facebook: facebook.com/NationalGeographicEsp



Síguenos en Instagram en [@NatGeoEsp](https://www.instagram.com/NatGeoEsp)



Síguenos en Threads en [@NatGeoEsp](https://www.threads.net/@NatGeoEsp)



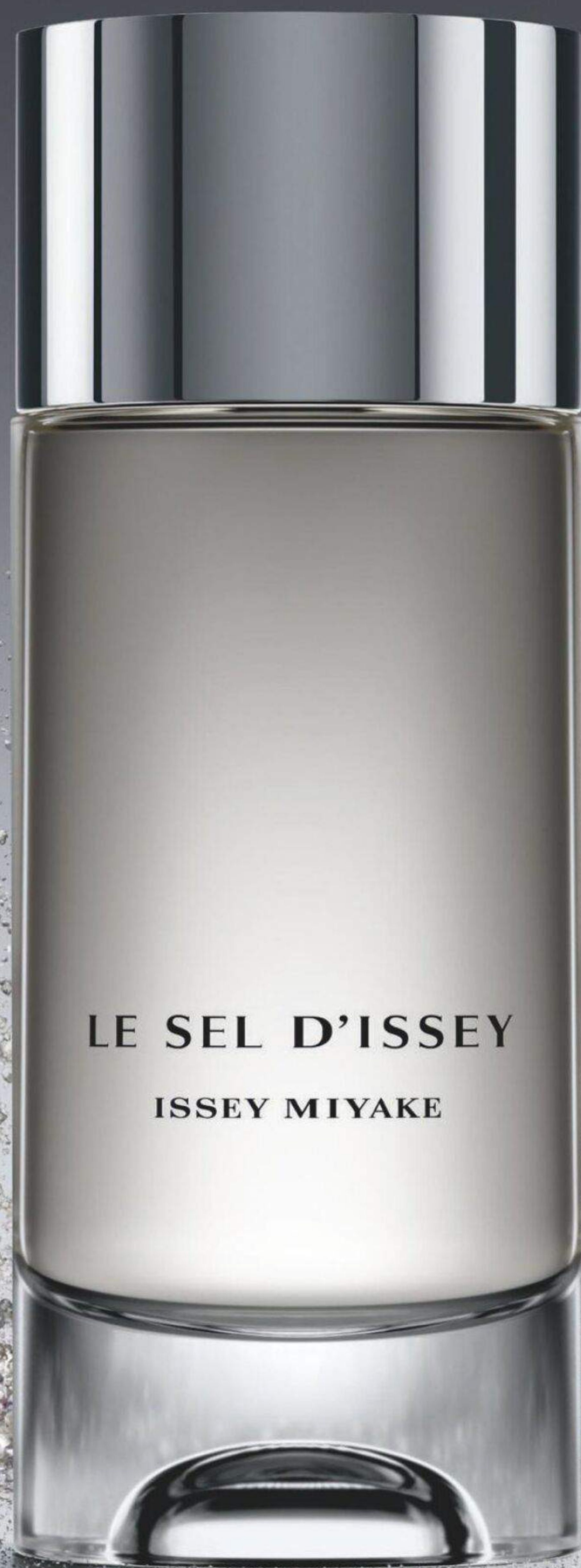
Más información en nuestra página web: nationalgeographic.com.es

ATENCIÓN AL CLIENTE
Teléfono 910 920 129 (de lunes a viernes, de 10 a 15 horas)
Email: suscripciones@rba.es

ISSEY MIYAKE

LE SEL D'ISSEY

the new refillable fragrance for men



VISIONES

ASCENSIÓN AL MONTE ROSA

Unos montañeros ascienden el monte Rosa al amanecer. Este macizo, el más extenso de los Alpes y el que alcanza la mayor altitud después del Mont Blanc, se alza entre Suiza e Italia, muy cerca del Cervino (en la imagen, en segundo término). Su nombre no deriva del color que puede adquirir al alba o al ocaso, sino del término *roëse*, que significa glaciar en las variedades dialectales del valle de Aosta.

FOTO: BUENA VISTA IMAGES/GETTY IMAGES



A close-up photograph of a sunflower head, showing the intricate spiral pattern of the seeds. A bee is visible on the right side of the flower head, facing left. The petals are bright yellow and radiate from the center. The background is a soft, out-of-focus green.

VISIONES

GEOMETRÍA EN LA NATURALEZA

Vista frontal de un girasol que permite apreciar con detalle la forma geométrica de la disposición de las semillas de la flor. Este tipo de estructura, cuyo patrón se repite un número infinito de veces a distintas escalas, recibe el nombre de fractal. La geometría fractal está presente en múltiples formas de la naturaleza, desde las inflorescencias del brócoli romanesco hasta los copos de nieve.

FOTO: NURPHOTO/GETTY IMAGES





Nadering
stortplaats?

LAS CASAS CUBO DE ROTTERDAM

Construidas en la calle Overblaak de la ciudad neerlandesa en 1978, las casas cubo son obra del arquitecto Piet Blom, quien en un proyecto innovador buscaba idear un conjunto de viviendas que emulara un bosque. Así, rotó un cubo convencional 45 grados y lo dispuso sobre unos pilares con forma hexagonal, formando 38 casas: las bases representan los troncos y los cubos, las copas de los árboles.

FOTO: ALEXANDER SPATARI/GETTY IMAGES





RENAULT RAFALE E-TECH FULL HYBRID

200 CV - 147 kW

hasta 1100 km de autonomía⁽¹⁾
hasta un 80% de conducción eléctrica en ciudad⁽²⁾
techo solar panorámico solarbay®⁽³⁾
4Control advanced con cuatro ruedas directrices⁽⁴⁾
sistema openR link con Google integrado⁽⁵⁾ y más de 50 apps disponibles⁽⁶⁾
32 sistemas avanzados de asistencia a la conducción
hasta 627 L de capacidad de maletero⁽⁷⁾

descúbrelo





también disponible en motorización E-Tech 4x4 300 CV – 221 kW híbrido enchufable⁽⁸⁾

consumo mixto wltip (l/100km) 4,7-5,0. emisiones wltip CO₂ (g/km) 105-113 (1) con el depósito lleno de acuerdo con la normativa wltip (2) dependiendo del estado de carga de la batería y estilo de conducción. fuente interna Renault 2023 (3) disponible de forma opcional (4) disponible de forma opcional dependiendo de la versión (5) My Renault connected services, Google, Google Maps, Asistente de Google son ofrecidos durante 5 años desde la fecha de entrega del vehículo (6) depende del país (7) medida en metros líquidos, 532 litros según la norma vda (8) **consumo mixto wltip (l/100km) 0,5 - 0,7. emisiones wltip CO₂ (g/km) 12 - 15.** © a.doroszewicz Renault recomienda  Castrol

BCN24 | **Copa América**
37^a AC | XXXVII Copa América Barcelona

renault.es

UN NUEVO FELINO

**Confirmada la existencia de una
tercera especie de pequeño felino
atigrado en América Latina.**

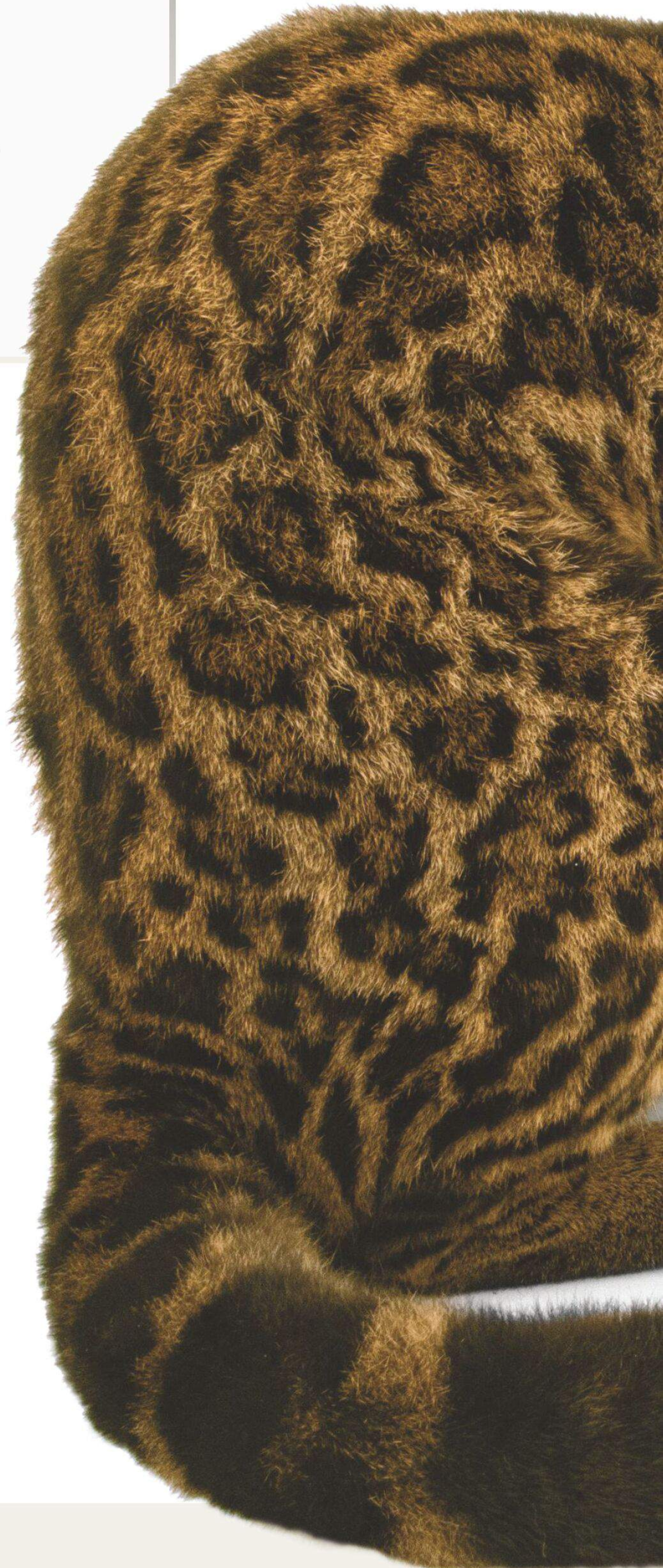
Texto de JASON BITTEL
Fotografía de JOEL SARTORE

→ **TODO EL MUNDO CONOCE** a los leones, los tigres y otros grandes félidos. Pero los pequeños felinos atigrados que habitan desde Costa Rica hasta Argentina siempre han estado rodeados de misterio. Ahora la ciencia acaba de descubrir al tigrillo occidental (*Leopardus pardinoides*), gracias a análisis genéticos, pieles de museo y miles de fotos de cámaras trampa que han permitido diferenciarlo de las otras dos especies conocidas: el tigrillo (*Leopardus tigrinus*) y el tirica (*L. guttulus*). Los tres depredadores moteados están en peligro a causa de la pérdida de hábitat y la transmisión de enfermedades procedentes de los animales domésticos. «Han perdido más del 50 por ciento de su territorio original», advierte Tadeu Gomes de Oliveira, conservacionista de fauna salvaje de la Universidad Estatal de Maranhão, en Brasil, y fundador de la Iniciativa para la Conservación de los Tigrillos, que trabaja con la población local para vacunar a las mascotas. «Se ha declarado la alerta roja», dice.



PHOTOARK
JOEL SARTORE

National Geographic Society financia el proyecto Photo Ark del Explorador Joel Sartore, cuyo objetivo es documentar todas las especies que viven en los zoos, acuarios y santuarios de vida salvaje del mundo.





BIGOTES SENSIBLES

Estos largos pelos ayudan al depredador a orientarse entre la densa vegetación de su hábitat montañoso.

MANCHAS DIFUSAS

El tigrillo occidental debe su nombre en inglés (*clouded tiger*) a sus manchas desdibujadas y a su hábitat en el bosque nuboso.

NOMBRE CIENTÍFICO
Leopardus pardinoides

CLASE
Mamíferos

DIETA
Carnívora

PROMEDIO DE ESPERANZA DE VIDA
Menos de 10 años en estado salvaje

TAMAÑO
2,25 kilos; 77 centímetros de largo (incluidos los 30 centímetros de cola)

COLA GRUESA
La cola del tigrillo occidental, gruesa y larga, se parece a la de otro diminuto felino americano, el margay.

ÁREAS DE DISTRIBUCIÓN



MAPA: MATTHEW W. CHWASTYK, NGM
FUENTE: TADEU GOMES DE OLIVEIRA, UNIVERSIDAD ESTATAL DE MARANHÃO (UEMA)
FOTOGRAFIADO EN TOUCAN RESCUE RANCH, SAN JOSECITO, HEREDIA, COSTA RICA



SANTANDER, CAPITAL NATURAL

Texto de EVA VAN DEN BERG

REFORZAR EL PAPEL DE LA RED de espacios verdes urbanos en la conservación de la biodiversidad y en la mejora de la calidad de vida de la ciudadanía: este es el gran pilar del proyecto Santander, Capital Natural, en el que trabaja el Ayuntamiento de la capital cántabra en colaboración con SEO/BirdLife, la Asociación Amica, la Fundación para la Investigación del Clima y la Universidad de Cantabria, con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITECO).

Entre las acciones previstas, explica Blanca Serrano, técnica de SEO/BirdLife, «destaca la permeabilización y la naturalización de 10.000 metros cuadrados de superficie pavimentada, entre ellos los patios de seis escuelas, y la plantación de 25.000 árboles autóctonos

en zonas verdes para alcanzar la ratio que dicta la OMS para respirar un aire de mejor calidad en las ciudades: un árbol por cada tres habitantes». La iniciativa incluye múltiples propuestas para que la población maximice el contacto con la biodiversidad urbana. En este sentido, trabajan también para fomentar la presencia de especies silvestres en la ciudad mediante la creación de charcas para anfibios, la instalación de más de 500 refugios para aves y murciélagos, la reducción de las siegas de césped y la creación de praderas floridas, un reducto para mariposas y abejas.

El proyecto se prolongará hasta diciembre de 2025.

Imagen aérea de Santander, capital de la comunidad autónoma de Cantabria que lidera el proyecto. Para saber más sobre él, visite: santandernatural.es.

LARGER *than* LIFE



Scale up your holiday.
Get ready for an
experience of epic
proportions in
Maharashtra, the land
that shelters some of
the world's finest
hill stations.

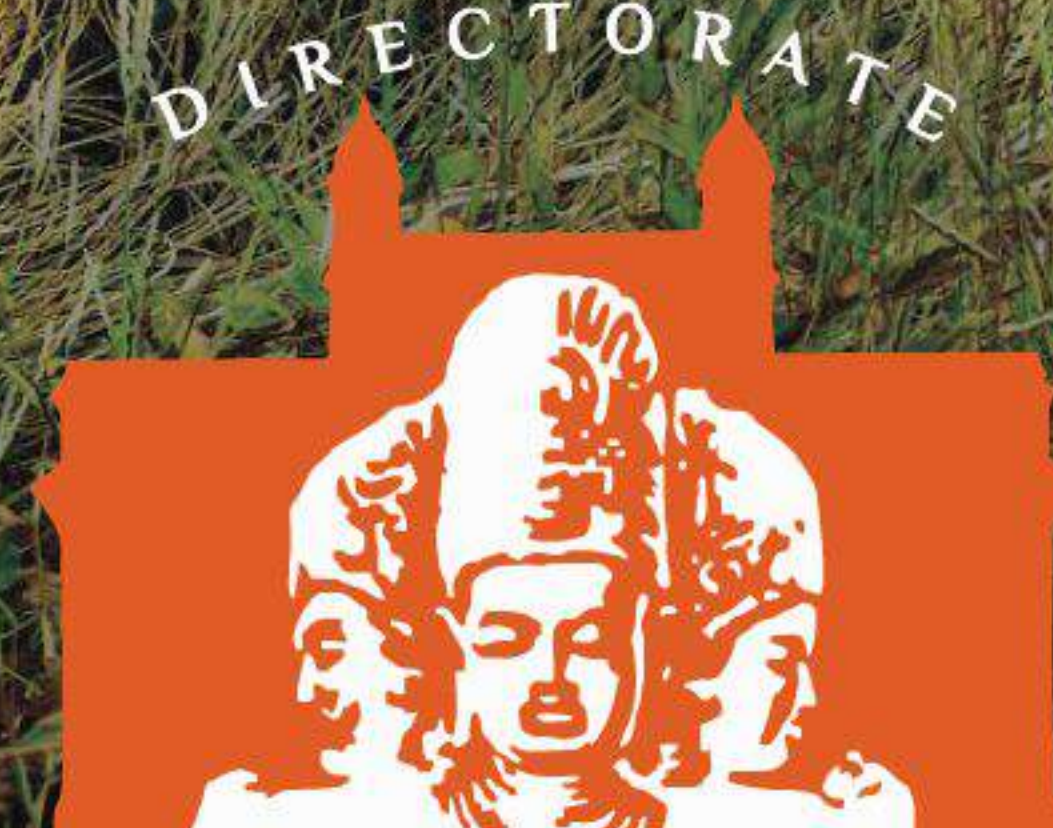
 Mahabaleshwar

To know more:

Send 'Hi' to  +91 9403878864

For bookings and reservations:

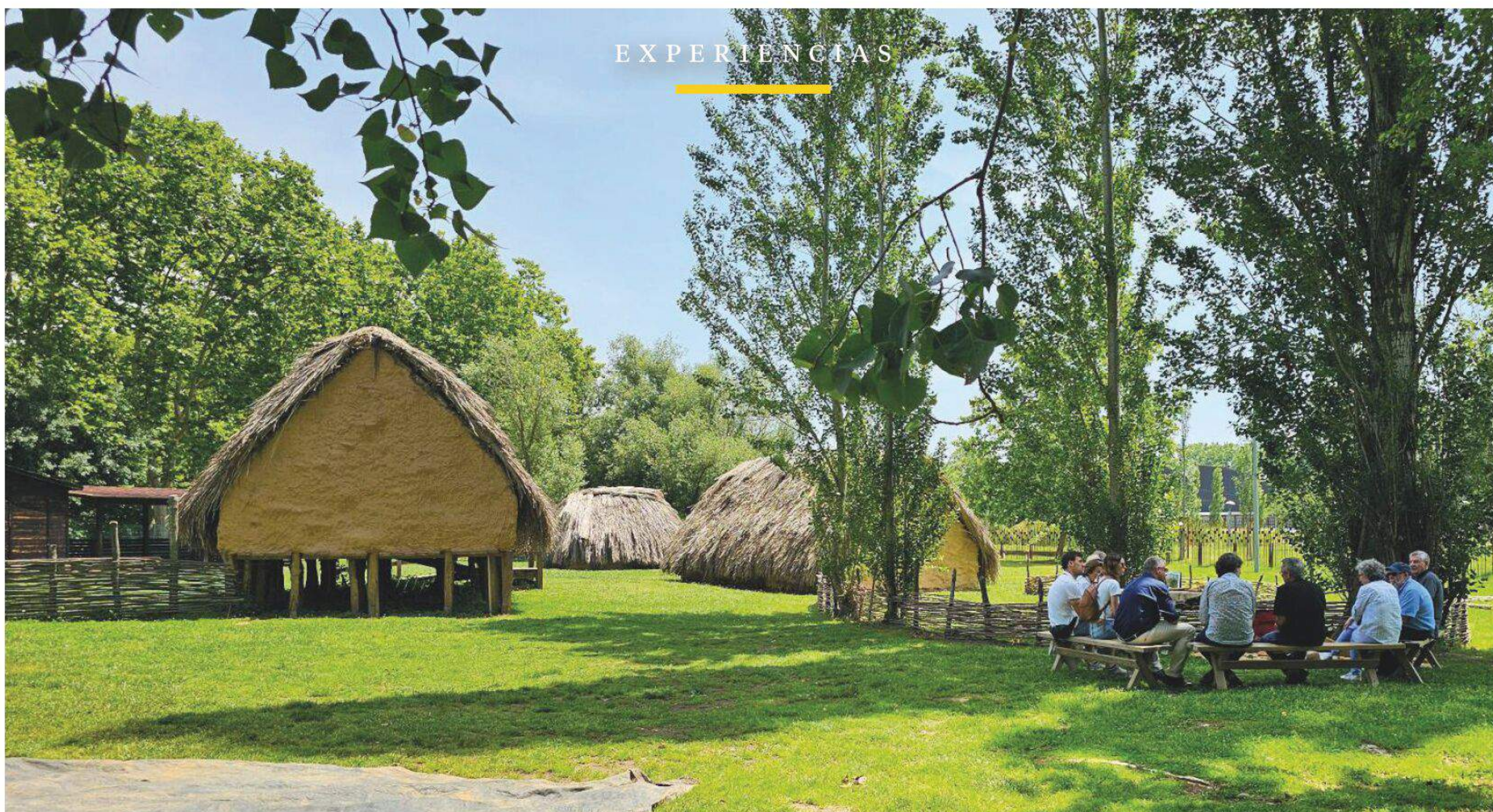
booking.maharashtratourism.gov.in



MAHARASHTRA
TOURISM

www.maharashtratourism.gov.in

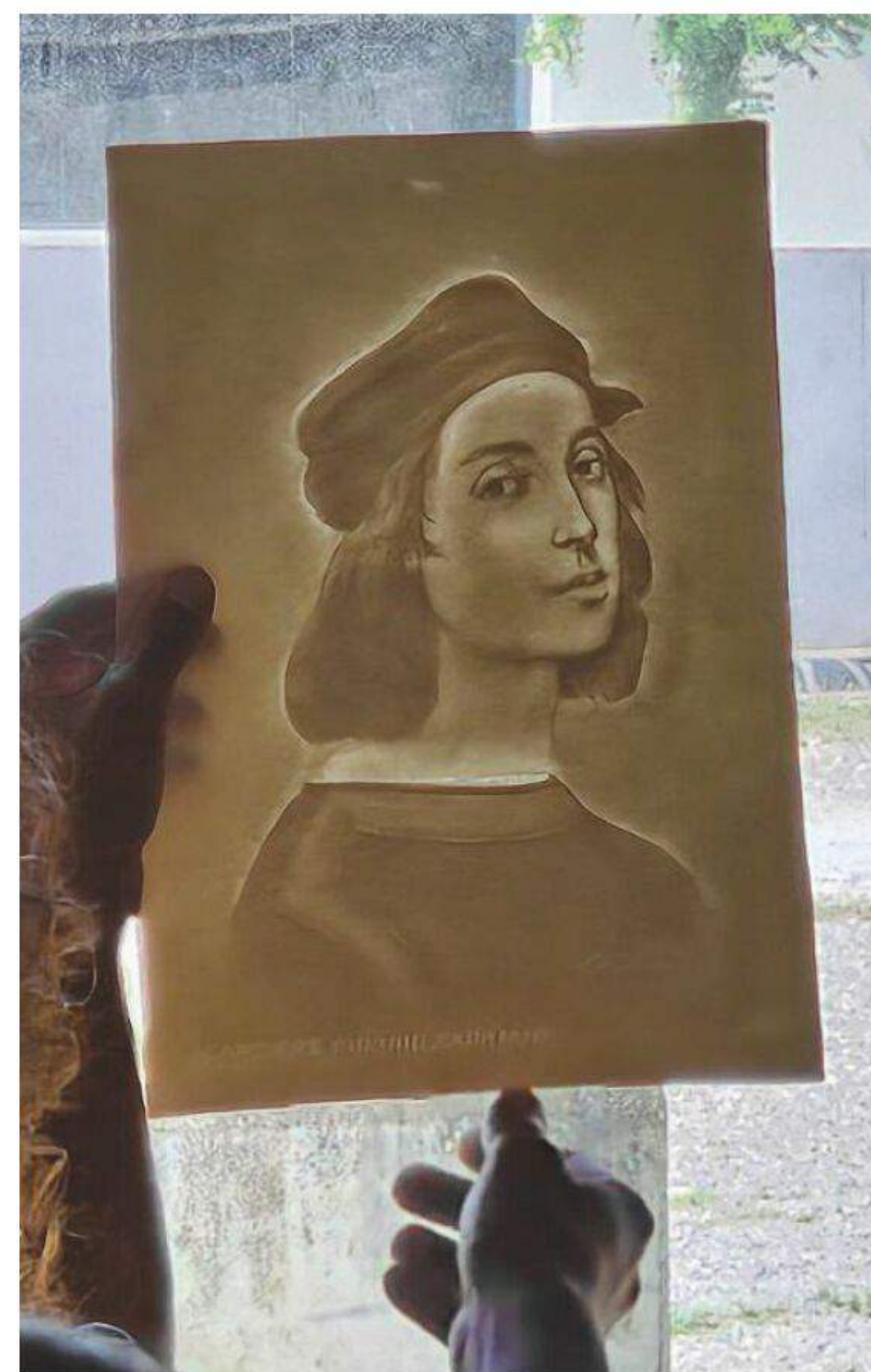
stark.in



LA DRAGA, UN POBLADO NEOLÍTICO ÚNICO

CORRÍA EL AÑO 1990 cuando las obras que acondicionaban el entorno del lago de Banyoles para acoger las pruebas de remo de los Juegos Olímpicos de Barcelona daban una sorpresa: La Draga, un poblado neolítico de unos 7.200 años de antigüedad. Las condiciones anaeróbicas de esta zona lacustre habían favorecido la conservación de la materia orgánica, especialmente madera y fibras vegetales, por lo que se habían conservado viviendas y objetos de la vida cotidiana. Desde entonces, las excavaciones han aportado información sobre la actividad de la que se ha revelado como una de las primeras comunidades agrícolas y ganaderas de la península ibérica. El pasado 7 de junio, 30 suscriptores de *National Geographic* vivieron una experiencia muy especial al conocer, de la mano de los directores del proyecto, los arqueólogos Antoni Palomo y Xavier Terradas, este yacimiento, referente mundial en los estudios del Neolítico. Gracias a la arqueología experimental, aquí se han podido reproducir tecnologías neolíticas, como pudieron comprobar los suscriptores, que extrajeron finas láminas de sílex percutiendo fragmentos de astas de ciervo.

Previamente el grupo visitó el molino papelero de Sastres Paperers, un ejemplo de arqueología preindustrial cuando hace 300 años fue uno de los pequeños molinos que a orillas del lago de Banyoles aprovechaban el sistema hidráulico natural para producir hierro y cobre. Esta pequeña empresa lleva ahora 40 años produciendo papel a mano, transformando materia vegetal en papel para artes gráficas y bellas artes usando únicamente la energía del agua.



Un reducido grupo de suscriptores de la revista *National Geographic* vivió una experiencia muy especial al visitar el yacimiento neolítico de La Draga (superior) y un molino de papel artesano con 300 años a sus espaldas (arriba). Prehistoria y artesanía junto al impresionante lago de Banyoles.



Escanea este código para
conocer las Experiencias
National Geographic.

LAS ZANCUDAS JACANAS ¡LAS CHICAS SON GUERRERAS!

Texto de EVA VAN DEN BERG

EL CONCEPTO DE HARÉN en el mundo no humano solemos vincularlo a un grupo de hembras que convive con un macho durante la época de reproducción, pero no siempre es así. Que se lo pregunten si no a las hembras de jacana: casi todas las especies de estas aves zancudas oriundas de las regiones tropicales practican la poliandria.

Ellas, bastante más grandes que los machos, se reproducen con varias parejas. Cada uno de los machos con los que se aparean, repartidos por un amplio territorio, construye un nido flotante en lagunas poco profundas y permanecerá a cargo del mismo durante todo el proceso de cría. En cada nido la hembra pondrá entre tres y cinco huevos –realmente preciosos, de color marrón con líneas negras que parecen artísticos garabatos–, que los machos incubarán hasta que nazcan los polluelos, a los que cuidarán hasta que se independicen, hacia los dos meses de edad. La hembra, mientras tanto, patrulla sus dominios defendiendo el territorio y no dudará en matar a las crías de otra hembra para aparearse con un nuevo macho.

«Los machos de jacana han desarrollado aptitudes para desempeñar con éxito el cuidado parental –explica Albert Masó, doctor en Ecología y Evolución–. Ante alguna amenaza, estos padrazos esconden a las crías entre su plumaje y las trasladan a otro lugar más seguro». Cuando eso sucede, las patas de los pequeños cuelgan del cuerpo de sus padres, lo que hace que tengan el aspecto de una extraña araña. ¡Amor de padre!

La jacana africana es una de las ocho especies de esta ave que existen. Menos la jacana chica (*Microparra capensis*), todas las demás son poliándricas.



HÁBITAT

La jacana africana (*Actophilornis africanus*) es común en los humedales del África subsahariana.

OTROS DATOS

Se alimenta de insectos y otros invertebrados que captura con el pico, mientras camina sobre el manto de nenúfares u otra vegetación flotante que se forma en los humedales donde habita.



La quinta edición del Concurso de Redacción Periodística para Jóvenes convocado por la edición española de *National Geographic* y RBA Libros ya tiene ganadores. Este año el certamen se ha presentado bajo el título «Querido Mar» y ha contado con el apoyo de la Fundación Ecomar y Volvo. En estas páginas publicamos los trabajos ganadores de las tres categorías, divididas por edades. Un año más, gracias a todos los participantes por hacer de este concurso un evento que pone el foco en la redacción periodística como una herramienta de divulgación del conocimiento y promueve la protección del planeta.

SU CANTO *nos* GUÍA

DIEGO DURÁN CONCHOUSO

CENTRO SANTA MARÍA DEL MAR, A CORUÑA

EXPLORADOR 1 - ESTUDIANTES DE 3º Y 4º DE ESO

«1830. NEW BEDFORD, Massachusetts. Aún recuerdo mi primer día en un buque ballenero. Desde que abandoné el orfanato siempre había soñado con embarcar. Aquel día, hace 30 años, mientras el sol se ponía en el horizonte y el viento agitaba las velas, supe que mi historia como ballenero había comenzado». Así escribía sus memorias un viejo lobo de mar que, tras muchos viajes y muchos toneles de aceite vendidos, había conseguido ser un hombre adinerado.

Por entonces ignoraba el impacto de sus actividades sobre el océano. Que en apenas 50 años las ballenas estarían al borde de la extinción. Que casi 200 años después habría jóvenes escribiendo para defender la importancia de preservar los mares frente a la contaminación, la sobrepesca, la pérdida de biodiversidad y el calentamiento global. Que los océanos son los mayores acumuladores de calor de la Tierra y que mientras la atmósfera no para de calentarse por la actividad humana, ellos lo hacen lentamente.

Stefan Rahmstorf, científico del Instituto Potsdam para la Investigación sobre el Impacto del Cambio Climático, ha demostrado que el deshielo causado por la excesiva acumulación de calor afecta a la salinidad del océano y, por tanto, a su densidad. El agua fría permanece en la superficie porque, al ser menos salina, pesa menos e impide que las aguas más cálidas asciendan y la repongan.

Eso ha debilitado la corriente del Golfo un 15% desde el siglo pasado.

Una consecuencia de los cambios de la temperatura del mar es la pérdida de biodiversidad. Las algas unicelulares que recubren los corales proporcionan hasta el 90% de la energía que estos necesitan, pero si la temperatura sube un grado centígrado, producen sustancias tóxicas y el coral muere. El 25% de los seres marinos depende directamente de los arrecifes de coral. Y en los últimos tiempos ha aumentado el número de especies invasoras, a la vez que las endémicas están amenazadas por la sobrepesca.

Esa sobrepesca ya era una amenaza para las ballenas en el siglo XIX, pero nuestro ballenero no lo sabía. Un día, mientras cazaba, escuchó el canto grave y prolongado de una cría llamando a su madre... Ordenó detener la caza, pues recordó que años atrás él había sido una criatura sin familia. Muchos otros siguieron su ejemplo, pero no fue hasta 1982 cuando la Comisión Ballenera Internacional prohibió su caza en aguas internacionales.

Nuestro protagonista fue un adelantado a su tiempo que se atrevió a dar el primer paso; el viejo lobo de mar es un reflejo de la humanidad. Estamos a tiempo de escuchar el canto de la ballena. En palabras de Carl Sagan: «Somos polvo de estrellas que piensa en estrellas». ¿Podríamos acaso ser gotas de mar que piensan en el océano?

LA VOZ *del* MAR ASTURIANO

LUCÍA RODRÍGUEZ MERA

COLEGIO SANTA MARÍA DEL NARANCO, OVIEDO

EXPLORADOR 2 - ESTUDIANTES DE BACHILLERATO O GRADO MEDIO

CADA INVIERNO, mientras la suave brisa del Cantábrico recorre aquellos recovecos que los gruesos abrigos no llegan a tapar, resulta inevitable fundirse en una sensación de nostalgia. Muchos recordamos los relatos de nuestros abuelos acerca de los inviernos pasados, allá por la década de 1980, en los que también la nieve llegaba a estas playas, en ocasiones enterrándolas bajo un manto blanco. Una realidad que las generaciones actuales nunca conocerán debido a la baja frecuencia de nieve en este pequeño paraíso y que, cuando llega, apenas logra cuajar. «Hacia el año 2000 el clima cambiará», decía Lyndon B. Johnson. Una punzada de tristeza arremete contra los corazones de aquellos que un día conocieron el paisaje que se desvanece, víctima del cambio climático.

Para muchos de nosotros el mar ha sido un confidente silencioso a lo largo de los años, además de fuente inagotable de inspiración para escritores. Desde los versos apasionados de Federico García Lorca hasta las reflexiones de Pablo Neruda y los relatos de Mario Benedetti, el mar siempre ha ocupado un lugar destacado. Ha compartido sus secretos con nosotros en sus susurros eternos. Pero su voz ha cambiado. Parece inquieto, como si tratara de comunicarnos algo que no queremos escuchar. Sus aguas se calientan, sus corrientes se tornan impredecibles, y la fauna marina lucha por adaptarse a un entorno en constante transformación.

Una herramienta creada por la NASA en 2021 para monitorizar el aumento del nivel del mar muestra que de mantenerse el

actual nivel de emisiones de gases de efecto invernadero, el mar aumentaría alarmantemente en la costa asturiana hasta 22 centímetros para 2050.

El cambio climático no solo afecta a la geografía de la costa asturiana, sino que también se ve amenazada su biodiversidad de manera alarmante. Los efectos del calentamiento global inciden directamente sobre los hábitats de especies emblemáticas como el percebe y el pulpo, con graves consecuencias sobre sus ciclos de vida. La acidificación de los océanos, causada por la absorción de dióxido de carbono, está poniendo en peligro a los corales y los organismos marinos dependientes de estos para su supervivencia. Desde los años ochenta, Asturias ha perdido más de un 30 por ciento de sus especies pesqueras, una pérdida también económica.

Pero junto a este caos es posible distinguir un mensaje de esperanza. El mar nos recuerda que aún estamos a tiempo de cambiar el rumbo de los acontecimientos, defendiendo su riqueza y restaurando su equilibrio perdido. La protección de los ecosistemas, la reducción de emisiones y la promoción de prácticas sostenibles son pasos cruciales para garantizar un futuro próspero.

La voz del mar es la voz de nuestra conciencia colectiva. Somos parte de un todo más grande, y nuestras acciones tienen un impacto que trasciende nuestras propias vidas. Es hora de escuchar su llamada y de tomar medidas para proteger y preservar uno de los tesoros más preciados que tenemos en esta Tierra: nuestro mar.

UNA LLAMADA URGENTE *para* PROTEGER *nuestros* OCÉANOS

FLORENCIA LARRABURU

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

EXPLORADOR 3 - ESTUDIANTES DE ESTUDIOS SUPERIORES

QUERIDOS HABITANTES de este mundo:

Soy una voz que susurra desde lo más profundo de sus océanos y sus ríos, desde las alturas de sus montañas y la frescura de sus brisas marinas. Aunque mi presencia pasa desapercibida para muchos, soy parte integral de sus vidas en más formas de las que puedan imaginar.

¿Se han detenido a pensar alguna vez en la vastedad de los océanos que abrazan su Tierra? ¿En la sutil melodía que acompaña cada gota de lluvia que cae del cielo? ¿En la frescura de un río que serpentea por los valles? Esa soy yo, la molécula de agua que fluye en cada parte de su ser, en cada rincón de este hermoso planeta azul.

A lo largo de los eones, acompañé el desarrollo de la vida en la Tierra. Presencié la explosión de vida en los océanos, vi cómo las bacterias evolucionaban y se diversificaban en una miríada de formas de vida acuáticas. Fui hogar de innumerables organismos marinos, desde simples organismos unicelulares hasta imponentes criaturas como los ictiosaurios o las ballenas.

En los últimos años he sido testigo de cómo la exuberancia y vitalidad que alguna vez caracterizó a los océanos ha ido desapareciendo. Lo que antes era un reino de vida y color se ha transformado en un paisaje entristecedor de vertederos de plástico y residuos químicos. La contaminación marina ha alcanzado niveles alarmantes en la actualidad, amenazando la supervivencia de innumerables especies marinas. Estudios

recientes estiman que entre 8 y 12 millones de toneladas de plástico llegan a los océanos cada año, infligiendo daños graves a los ecosistemas marinos y su biodiversidad. Además, la presencia de otros desechos, como productos químicos tóxicos y vertidos de crudo, sigue representando una amenaza para la salud de los océanos y los seres que dependen de ellos.

Desde mi posición privilegiada como testigo silencioso de la historia de la Tierra, siento la urgencia de la situación. El agua, fuente de vida, está en peligro. Es hora de actuar antes de que sea demasiado tarde. Los científicos advierten: cada año, ocho millones de toneladas de plástico alcanzan los océanos, amenazando la vida marina y la salud de los ecosistemas acuático.

Como especie dominante en este planeta, tenéis la responsabilidad de proteger y preservar los océanos y los ríos. Debéis implementar políticas de gestión de residuos más efectivas y promover la conservación de los valiosos recursos hídricos.

El futuro depende de las acciones de hoy. Estoy aquí para recordarles que somos uno. Somos parte de un ciclo interconectado de vida, y dependemos unos de otros para sobrevivir. Aún estamos a tiempo de asegurar un futuro sostenible para las generaciones venideras. Si protegemos nuestras aguas, estamos protegiendo la vida misma. Es hora de actuar.

Con esperanza y gratitud,
una humilde molécula de agua.

LARGER *than* LIFE

Scale up your holiday.
Get ready for an
experience of epic
proportions in
Maharashtra, the land
that is home to some of
the world's most iconic
historical monuments.

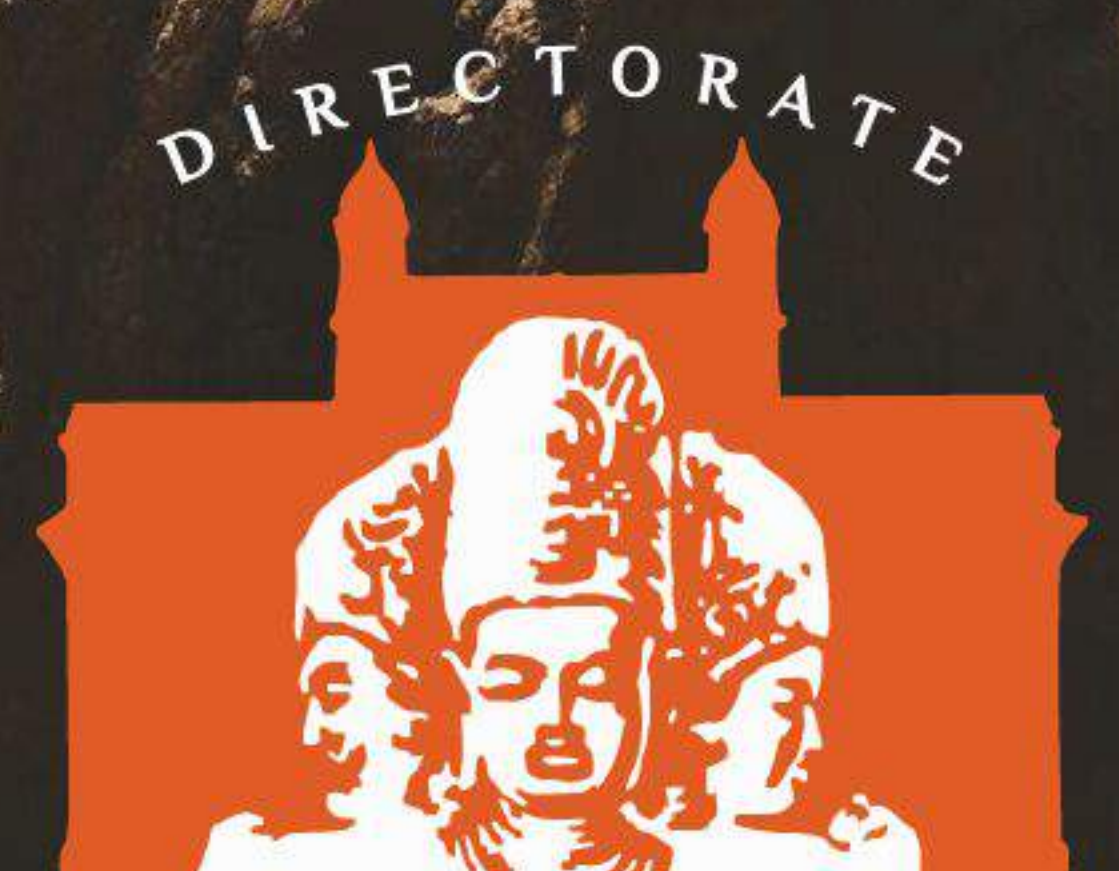
 Ellora Caves

To know more:

Send 'Hi' to  +91 9403878864

For bookings and reservations:

booking.maharashtratourism.gov.in



MAHARASHTRA
TOURISM

www.maharashtratourism.gov.in

stark.in

CREEMOS QUE CUANDO
LAS PERSONAS ENTIENDAN MEJOR
EL MUNDO QUE HABITAMOS,
TOMARÁN MAYOR CONCIENCIA
SOBRE SU PROTECCIÓN.

NATIONAL GEOGRAPHIC MAGAZINE
ESPAÑA

GONÇALO PEREIRA ROSA
Director

ANA LLUCH *Subdirectora*

JOAN CARLES MAGRIÀ
Director de Arte

BÁRBARA ALIBÉS,
SERGI ALCALDE
Redacción

VÍCTOR ÁLVAREZ
Maquetación

MIREIA PLANELLES
Coordinación Editorial

JOSÉ LUIS RODRÍGUEZ
Tratamiento de Imagen

MÒNICA ARTIGAS
*Subdirectora Área NG y Ediciones
Internacionales*

OLIVER TAPIA *Director Digital*
www.nationalgeographic.com.es

ESTHER MOYANO
Revista Digital

SYLVIA ROIG
Coordinadora Experiencias NG

ASESORES

MARÍA TERESA ALBERDI
Paleontología

JUAN LUIS ARSUAGA
Paleoantropología

EUDALD CARBONELL *Arqueología*

CARMEN HUERA *Etnología*

ALBERT MASÓ
Entomología y Vertebrados

JOAN PINO *Botánica*

MANUEL REGUEIRO *Geología*

VÍCTOR REVILLA *Historia Antigua*

JOANDOMÈNEC ROS *Ecología*

ADOLFO DE SOSTOA *Ictiología*

TRADUCTORA

EVA ALMAZÁN

COLABORADORES DE ESTE NÚMERO

EVA VAN DEN BERG

RBA PUBLIVENTAS

ENRIQUE BLANC, *CEO*

ARIADNA HERNÁNDEZ FOX, *Directora General*

SERAFÍN GONZÁLEZ, *Director de Negocio Digital*

IVÁN LORENTE, *Subdirector de Estrategia Comercial
Digital*

ALICIA CORTÉS, *Soluciones de Implementación
de Publicidad Digital*

MADRID Y NORTE

ARANTXA SÁNCHEZ, *Directora de Oficina*

Mª LUZ MAÑAS, *Directora Comercial*

ADRIÁN GARCÍA DE MANUEL, *Subdirector de
Publicidad*

BEGOÑA LLORENTE, *Subdirectora de Publicidad*

YOLANDA TRIGUEROS, *Coordinadora de Publicidad*

C/ López de Hoyos, 141 28002 Madrid
Tel. 915 10 66 00

BARCELONA Y LEVANTE

ANA GEA, *Directora Comercial*

MÓNICA MONGE, *Directora de Publicidad Barcelona*

PALOMA CAMPOS, *Directora de Publicidad Levante*

AINHOA ARGENTE DEL CASTILLO, *Coordinadora
de Publicidad*

Av. Diagonal, 189 08018 Barcelona
Tel. 934 15 73 74

ATENCIÓN AL CLIENTE

suscripciones@rba.es
910 920 129

Distribución: LOGISTA PUBLICACIONES
Impresión-Encuadernación:
ROTOCOBRHI, S.A.
Depósito legal: B-333 67-1997

ISSN 1138-1434
ISSN edición digital 2604-6156
Printed in Spain - Impreso en España
Edición 01-2025

Copyright © 2024 National Geographic Partners, LLC.
Todos los derechos reservados. National Geographic
y Yellow Border: Registered Trademarks® Marcas
Registradas. National Geographic declina toda
responsabilidad sobre los materiales no solicitados.

Difusión controlada por



NATIONAL GEOGRAPHIC CONTENT

PRESIDENT Courteney Monroe
EVP & GENERAL MANAGER David Miller
EDITOR IN CHIEF Nathan Lump

HEAD OF VISUALS: Soo-Jeong Kang
HEAD OF CREATIVE: Paul Martinez
HEAD OF DIGITAL: Alissa Swango

INTERNATIONAL EDITIONS

EDITORIAL DIRECTOR: Amy Kolczak
INTERNATIONAL EDITIONS EDITOR: Leigh Mitnick
PRODUCTION EDITOR: Ariana Pettis

EDITORS

ALEMANIA: Werner Siefer
BULGARIA: Tatiana Grigorova
CHINA: Tianrang Mai
COREA: Junemo Kim
ESLOVENIA: Marija Javornik
ESPAÑA Y PORTUGAL: Gonçalo Pereira
FRANCIA: Frédéric Vallois
GEORGIA: Ketevan Chumburidze
HUNGRÍA: Tamás Vitray
INDONESIA: Didi Kaspi Kasim
ISRAEL: Mirit Friedman
ITALIA: Marco Cattaneo
JAPÓN: Shigeo Otsuka
KAZAJISTÁN: Yerkin Zhakipov
LATINOAMÉRICA: Alicia Guzmán
LENGUA ÁRABE: Hussain AlMoosawi
LITUANIA: Frederikas Jansonas
PAÍSES BAJOS/BÉLGICA: Robbert Vermue
POLONIA: Agnieszka Franus
REPÚBLICA CHECA: Tomáš Tureček
TAIWÁN: Yungshih Lee
THAILANDIA: Kowit Phadungruangkij

Copyright © 2024 National Geographic Partners, LLC.
Todos los derechos reservados. National Geographic
y Marco Amarillo: ® Marcas Registradas.

RBA REVISTAS

Licenciataria de
NATIONAL GEOGRAPHIC PARTNERS, LLC.

RICARDO RODRIGO *Presidente*

ANA RODRIGO *Editora*

JOAN BORRELL *Director General Corporativo*

AUREA DIAZ *Directora General*

BERTA CASTELLET *Directora de Marketing*

JORDINA SALVANY *Directora creativa*

SUSANA GÓMEZ MARCULETA *Directora editorial*

JOSEP OYA *Director General de Operaciones*

RAMON FORTUNY *Director de Producción*

© RBA REVISTAS, S.L. 2024

Reservados todos los derechos. Queda prohibida la
reproducción, almacenamiento en cualquier medio o
soporte, distribución, comercialización y comunicación
pública de la presente publicación, su transformación
total o parcial, así como la de sus textos, dibujos,
fotografías, portada, marca y cualquier contenido.
La prohibición alcanza también a cualquier uso de
los contenidos relativos a la denominada inteligencia
artificial. Tampoco se pueden utilizar para recopilaciones,
reseñas, revistas de prensa o citas, sin la autorización
expresa y por escrito de la titularidad de la revista.

La infracción de cualquier derecho sobre la presente
publicación, titularidad de RBA REVISTAS S.L., será
perseguida siguiendo las leyes aplicables y se exigirá
a los infractores la imposición de las sanciones civiles
y/o penales establecidas en la normativa vigente,
y las indemnizaciones que correspondan.

El ganador del concurso de video
La vida en los océanos es:

JOSEP GOMIS

El premio consiste en este exclusivo reloj
de Oris, modelo Aquis Date Upcycling de
acero, con esfera exclusiva de plástico
PET reciclado.





BODEGAS MARQUÊS DE CÁCERES



Cincuenta años celebrando

TU MOMENTO *a tu manera*

AHORA COMO NUNCA ANTES

ENTENDEMOS QUE LA VIDA ES LA
SUMA DE MOMENTOS Y, SOBRE TODO,
LA ACTITUD CON LA QUE LA VIVAS

ABRAZA EL ARTE
DE VIVIR A TU MANERA

BODEGASMARQUESDECACERES.COM



El espectacular MUNDO OCULTO de los HONGOS

NATHAN LUMP

EN 2022, durante mi primera semana como director de *National Geographic* conocí a la micóloga Giuliana Furci, investigadora asociada de Harvard, en las Jornadas de Exploradores de National Geographic Society, un acontecimiento anual en el que exploradores de todo el mundo se reúnen para compartir sus trabajos y conocimientos.

Giuliana, que había acudido a aquella convención desde su Chile natal, es uno de esos seres humanos increíbles con los que puedes pasar en cuestión de minutos de una charla trivial a una conversación trascendente; en este caso, sobre los hongos y el nunca bien ponderado papel que desempeñan en nuestros ecosistemas y en nuestra vida.

Por entonces me encontraba en plena mudanza a Washington D.C., donde está

la sede central de National Geographic, desde Seattle, donde vivía en un bosque que me había enseñado a fijarme en los hongos. Algunos parecían elegantes alas blancas desplegadas en los troncos en descomposición. Otros, arrugados, semejaban corros de brujas. Los había de intenso color azul, naranja, negro...

Aquella charla con Giuliana Furci fue el germen del artículo sobre hongos que publicamos en este número, un reportaje que indaga sus aspectos más fascinantes, como el micobioma que forman en nuestro organismo, su uso en el sector de la moda o cómo les afecta el cambio climático.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Nathan'.

LA REVOLUCIÓN DE LA MEDICINA

GEMELOS DIGITALES,
TRATAMIENTOS DIANA,
NANOROBOTS PARA TRATAR
EL CÁNCER O SUPERCOMPUTACIÓN
PARA DESENTRAÑAR LOS MISTERIOS
DE LAS PROTEÍNAS Y, CON ELLO,
LA FÓRMULA PARA CURAR LO QUE
AHORA ES INCURABLE: SON TENDENCIAS
QUE CAMBIAN LA INVESTIGACIÓN
Y EL CUIDADO DE LA SALUD HUMANA
EN UN NUEVO ESCENARIO
MUNDIAL.

Texto de
CRISTINA SÁEZ



FOTO: KITREEL/ADOBE STOCK

FOTO: KITREEL/ADOBE STOCK

A portrait of Max Jaderberg, a man with dark hair and a beard, looking slightly to the side. He is positioned on the left side of the frame. The background is dark and features a large, glowing 3D model of a protein structure, rendered in shades of blue, cyan, and orange. The model is complex, with various loops and helices, and appears to be made of a translucent material. The lighting is dramatic, highlighting the man's face and the glowing protein model.

MAX JADERBERG

CIENTÍFICO DE LA COMPUTACIÓN

Tiene 34 años pero ya hace 10 que su nombre suena con fuerza en el mundo de la inteligencia artificial generativa, con contribuciones cruciales en modelos como ChatGPT o Gemini. En la actualidad dirige la división de IA de Isomorphic Labs, una empresa de biología digital.

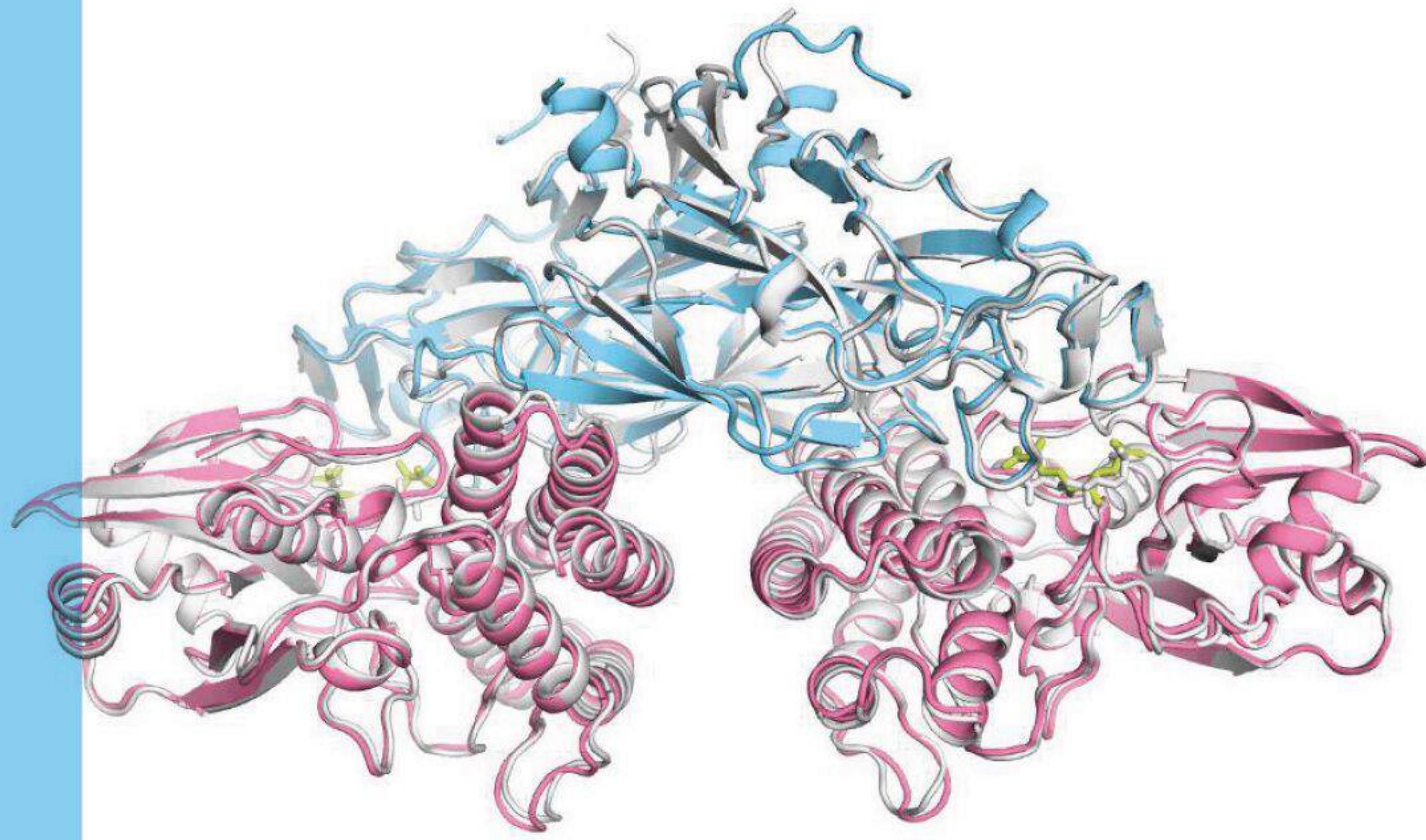
«NECESITÁBAMOS CONOCER EL COMPORTAMIENTO DE LAS PROTEÍNAS PARA PODER DISEÑAR TRATAMIENTOS DIANA QUE COMBATAN ENFERMEDADES Y FRENEN SU PROGRESIÓN».

Max Jaderberg junto a una imagen generada por AlphaFold 3, un algoritmo capaz de predecir la secuencia de una proteína y sus interacciones que está resultando crucial en la investigación de diversas enfermedades.

FOTO: STEVE FORREST/PANOS PICTURES



M



«**iMR. JADERBERG NUNCA LLEVA BATA!**», nos corta de cuajo su asistente, tajante –y sorprendida–, cuando le sugerimos que pose con una bata para el retrato. Ante tal ocurrencia, nuestro protagonista sonríe y no puede evitar poner los ojos en blanco. A sus 34 años se ha convertido en uno de los nombres clave a nivel mundial de la inteligencia artificial (IA). Y lo sabe. Y sabe que lo sabemos. Desde esta moderna oficina bañada de luz natural en el céntrico barrio londinense de King's Cross, Max Jaderberg dirige la división de IA de Isomorphic Labs, una empresa de biología digital creada en 2021 vinculada a Google DeepMind, referencia mundial en el desarrollo de esta potentísima tecnología. En sus instalaciones, sumidos en un absoluto secretismo, trabajan algunos de los mejores cerebros en este ámbito y, desde sus ordenadores, sin pisar un laboratorio tradicional ni un hospital, fraguan el presente y el futuro de la medicina. Sin bata blanca. Solo a base de algoritmos y *big data*.

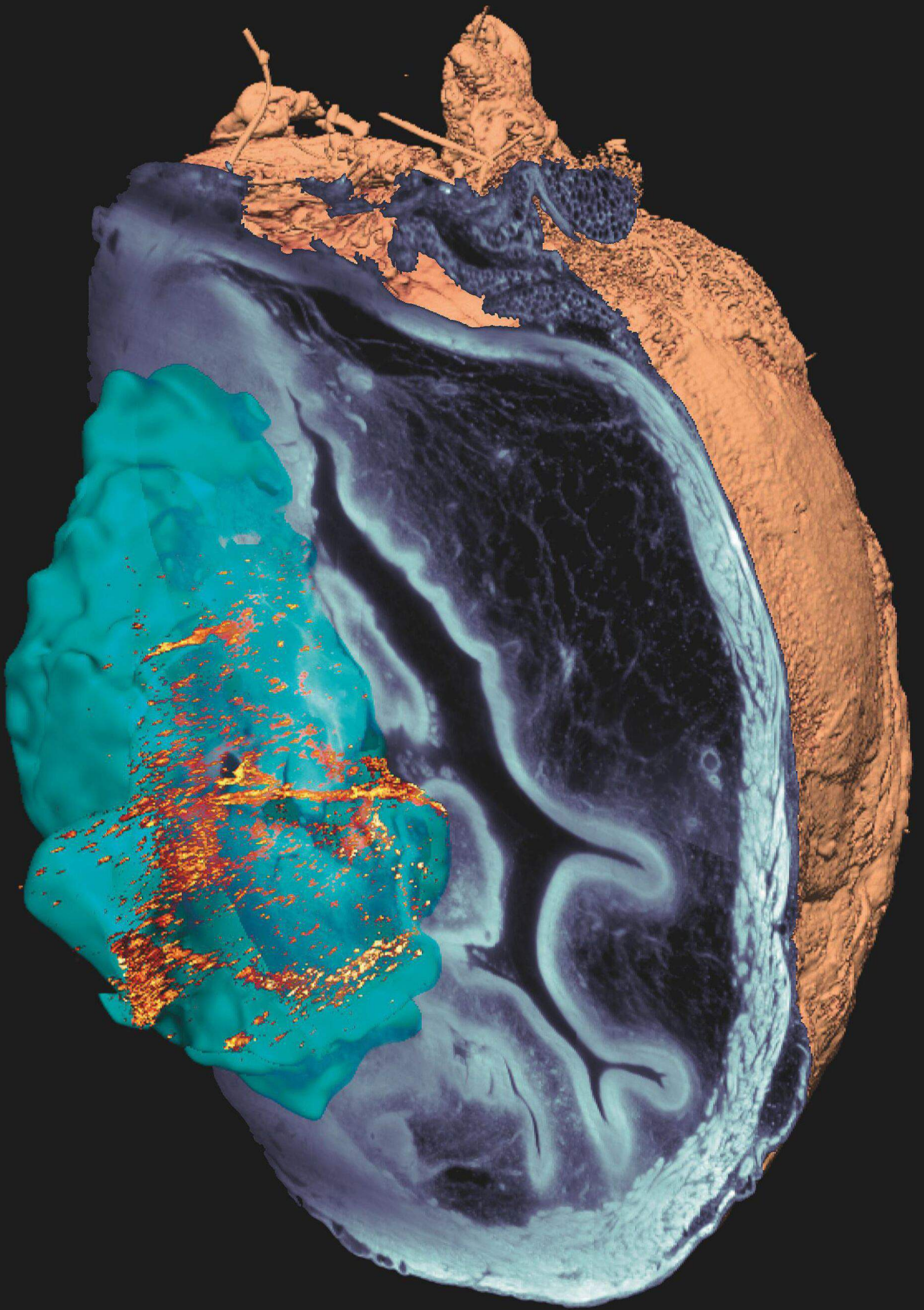
Jaderberg es un *geek* en toda regla. Con su estudiado estilo *casual* y su peinado ochentero, parece un personaje salido de la exitosa novela *Mañana, y mañana, y mañana*, de Gabrielle Zevin, pero en versión británica. Fue el mejor de su promoción de la Universidad de Oxford y su trayectoria profesional ha sido fulgurante. Nada más empezar la charla deja claro que él es uno de los científicos de la computación que ha contribuido a sentar las bases de modelos generativos que han florecido y provocado avances como ChatGPT o Gemini. Casi nada.

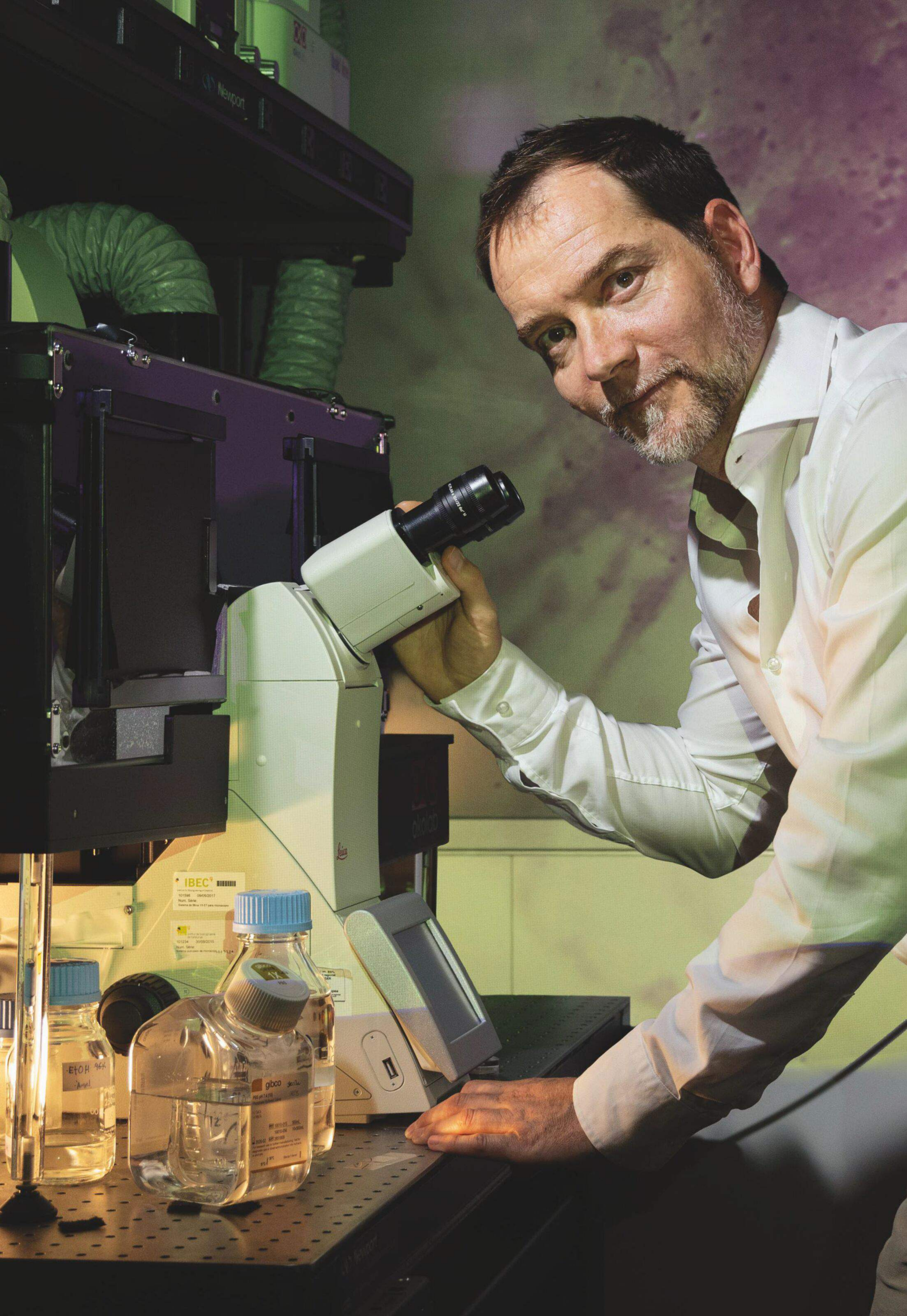
«Amo esta tecnología y deseo fervientemente que tenga un enorme impacto en el mundo –afirma con entusiasmo–. Y no creo que haya mejor impacto que aplicarla a problemas fundamentales de biología y de química», asegura con una sonrisa franca y un centelleo en los ojos. En este sentido, no podría estar trabajando en mejor sitio, porque Isomorphic Labs se centra precisamente en reinventar el proceso de descubrimiento de nuevos fármacos, una de las áreas más prometedoras en biomedicina y donde la IA está propiciando un impulso enorme.

«El método para encontrar nuevas moléculas que funcionaran como fármaco se había mantenido inmutable durante décadas. Consistía en buscar componentes en la naturaleza que después se probaban en el laboratorio para ver si tenían algún efecto sobre las células. Era un proceso lento e ineficiente que cambió en la década de 1990, cuando se descubrió que se podía cristalizar la estructura de las proteínas y esto permitió empezar a diseñar fármacos adaptados a ellas», narra Jaderberg. Ese cambio fue la antecámara a la revolución que tiene entre manos.

Arriba Predicción sobre cómo se plegará un complejo proteico realizada con el programa de inteligencia artificial generativa AlphaFold. *Derecha* Imagen de microscopio en la que se ve una acumulación de nanorrobots (en color fuego) en un tumor de vejiga (en verde).

FOTOS: ALPHAFOLD GOOGLE DEEPMIND (ARRIBA); INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN BIOMÉDICA DE BARCELONA (DERECHA)







El investigador Samuel Sánchez, sobre el que se proyecta una imagen microscópica de los nanorrobots que transportan un tratamiento para el cáncer de vejiga y cuya propulsión se ha conseguido al provocar una reacción química con la urea.

FOTO: PAU FABREGAT

SAMUEL SÁNCHEZ QUÍMICO

Es uno de los pioneros a nivel mundial en el ámbito de la nanorrobótica aplicada a la medicina y ha demostrado cómo esta puede revolucionar los tratamientos oncológicos. Hace diez años la revista *MIT Technology* lo eligió como el investigador menor de 35 años más innovador.

«UN ENJAMBRE FORMADO POR MILLONES DE NANORROBOTS PUEDE COMBATIR EL CÁNCER DE VEJIGA CON MÁS EFICIENCIA QUE EL TRATAMIENTO HABITUAL».

En la inmensa mayoría de las enfermedades, las proteínas desempeñan un papel fundamental. Son las «currantas» de las células, las encargadas de realizar la función marcada por los genes. Y para ello, deben plegarse formando complejas estructuras tridimensionales, como si fueran preciosas y precisas creaciones de origami. Y es justamente esa configuración lo que resulta crucial para que una molécula logre actuar sobre ellas. Haciendo un símil, podríamos decir que durante mucho tiempo se intentó fabricar «llaves», o fármacos, para abrir o cerrar «cerraduras», o proteínas, cuya forma desconocíamos por completo. Descifrar esos origamis moleculares, la geometría de esas cerraduras para poder dar con la llave que las abriera, suponía un desafío importante que requería que los biólogos destinasen años para resolverlo. Tanto es así que tradicionalmente se asumía que los futuros investigadores dedicaban los cuatro años de su tesis doctoral a intentar descifrar una sola proteína.

De ahí el extraordinario progreso que ha supuesto AlphaFold, un programa de IA lanzado por Google DeepMind en 2020 capaz de predecir la estructura tridimensional de prácticamente todas las proteínas conocidas. Recientemente esta empresa ha presentado AlphaFold 3, que puede prever también la interacción entre proteínas y el resto de las moléculas esenciales para la vida, como ADN, ARN, moléculas pequeñas y anticuerpos.

«Es una herramienta que permite comprender las enfermedades y su progresión, porque antes de diseñar un tratamiento diana tienes que entender el mecanismo que provoca la dolencia. Y eso pasa por saber cómo interaccionan las distintas moléculas, cómo se forman las proteínas, cómo interactúan con las células. Muchas enfermedades son el resultado de una mutación en un gen que imprime cambios en las formas de las proteínas», resume Jaderberg.

Este avance en la comprensión de las relaciones entre moléculas abre la puerta a encontrar la mejor diana posible para curar una enfermedad: elegir cuál es la molécula idónea para determinada proteína, simular cómo se relacionan y qué efecto tendrá sobre células y tejidos antes

incluso de probarla en un ensayo clínico y sin necesidad de emplear animales.

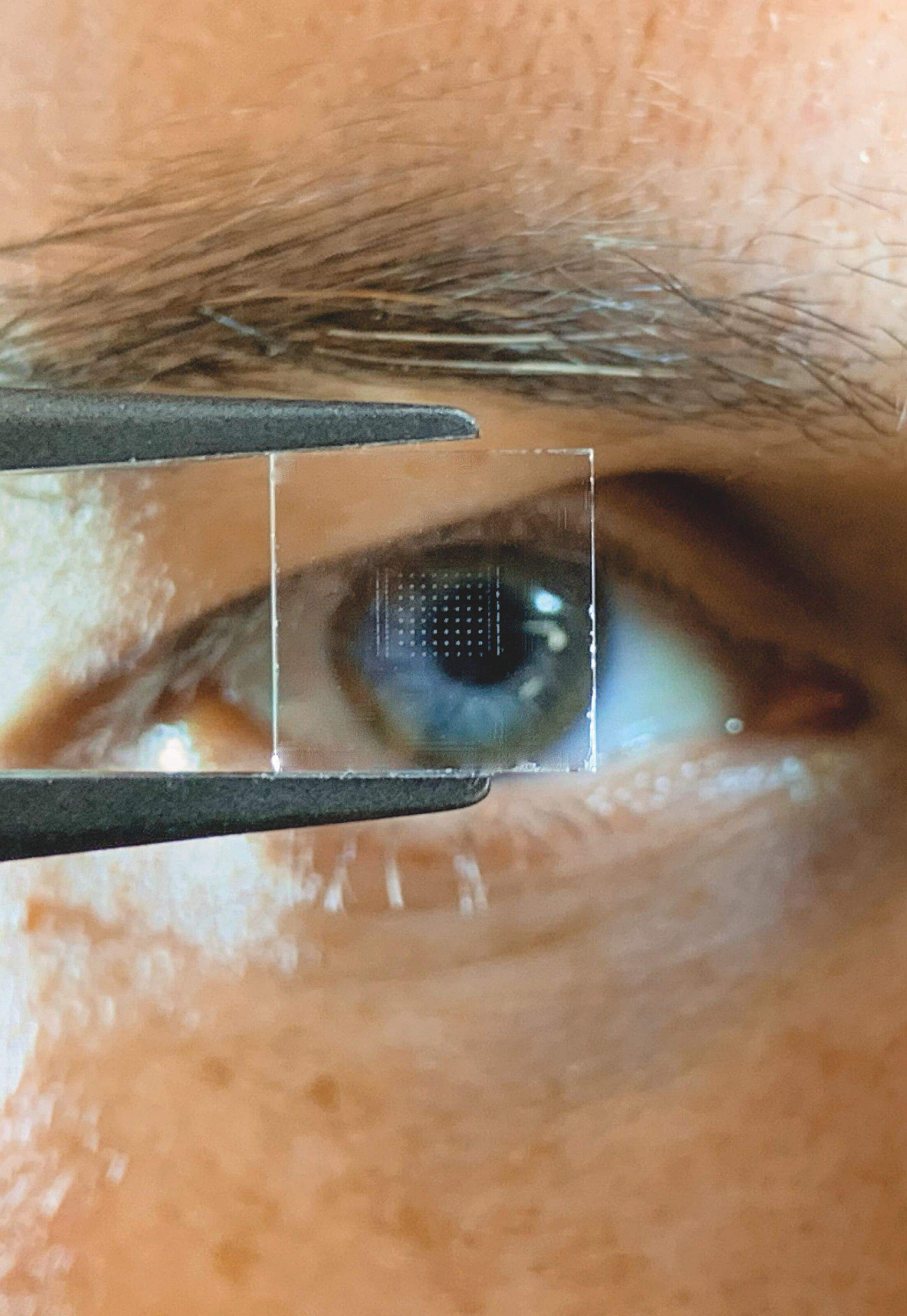
De la misma forma que AlphaFold y otros programas similares como Rosetta, desarrollado por la Universidad de Washington, simulan estructuras de proteínas y su interacción con fármacos y el organismo, Beatriz Eguzkitza trabaja para obtener reproducciones ultraprecisas de las vías respiratorias en las que probar medicamentos o predecir cómo avanzará una enfermedad como la fibrosis quística.

ESTA ESPECIALISTA EN GEMELOS DIGITALES llega a primera hora de la mañana al Barcelona Supercomputing Center-Centro Nacional de Supercomputación (BSC-CNS), ubicado en la parte alta de la avenida Diagonal de Barcelona, la arteria que recorre de un extremo a otro la ciudad, con su bicicleta plegable y sus labios pintados de rojo intenso. Beatriz Eguzkitza se planta ante mí dispuesta a seducirme con sus gemelos digitales de pulmón, réplicas virtuales que copian con exactitud el órgano de un paciente. «Son el futuro de la medicina», advierte sin ambages esta física.

GRAFENO: LA PROMESA DE LA OFTALMOLOGÍA

Las cualidades del grafeno –flexibilidad, delgadez, transparencia y conductividad– anuncian un cambio en la oftalmología. Actualmente se investiga con retinas fabricadas con este nanomaterial para restaurar la visión en cegueras causadas por retinosis pigmentaria, degeneración macular asociada a la edad o la enfermedad de Stargardt. En la imagen, otra aplicación puntera del grafeno en óptica: un sensor de altísima sensibilidad y transparencia que sigue el movimiento del ojo y es integrable en lentes, cámaras o pantallas, diseñado por un equipo del Instituto de Ciencias Fotónicas (ICFO) liderado por el profesor Frank H. L. Koppens.

FOTO: ICFO-THE INSTITUTE OF PHOTONIC SCIENCES/QRUV





BEATRIZ EGUZKITZA

FÍSICA

Cuando trabajaba investigando cómo mejorar la climatización en edificios no imaginó que esos conocimientos sobre la circulación del aire le servirían para acabar desarrollando, codo con codo con hospitales de referencia, gemelos digitales del aparato respiratorio. Hoy, Eguzkitza es pionera en esta área.

**«LOS GEMELOS DIGITALES SON EL FUTURO.
CON ELLOS AVANZAMOS HACIA UNA MEDICINA
DE PRECISIÓN BASADA EN PACIENTES REALES».**

La física Beatriz Eguzkitza
junto a la imagen del
gemelo digital de un
aparato respiratorio
humano; imitando su
compleja geometría y
recreando sus funciones,
marcará un hito en el
ensayo personalizado
de nuevos fármacos.

FOTO: PAU FABREGAT



Deja sus cosas sobre la mesa, se prepara un té y confiesa que quiso estudiar física para entender el universo y que la biomedicina, de hecho, nunca la atrajo. «¡Y mírame ahora!», exclama entre risas. El camino no fue una línea recta entre A y B: empezó investigando cómo mejorar la climatización en edificios y hacer más eficiente el empleo de agua en sanitarios, y ha acabado desarrollando algoritmos de mecánica computacional que permiten explorar la respiración humana, trabajando en entornos de supercomputación codo con codo con hospitales de referencia.

Aunque cada caso presenta unas particularidades que requieren adaptar el algoritmo, «para aumentar la eficiencia de un avión necesitamos resolver la misma ecuación que modela el aire que entra en tus pulmones en cada respiración», explica. Resuelta, nos muestra la imagen de unos pulmones digitales en la pantalla de su ordenador, al tiempo que explica que hasta hace muy poco el aparato respiratorio era una verdadera caja negra. «La geometría de las vías aéreas es sumamente compleja, con un sinfín de bifurcaciones y conexiones microscópicas. Se necesitan conocimientos matemáticos, de informática, de computación, de física y también de inteligencia artificial para generar un gemelo digital». Elaborar el diseño digital del pulmón es muy complicado, tal vez más que el del corazón o incluso el del útero, del que también se ha generado un gemelo para entender su evolución durante el embarazo y las temidas contracciones de parto.

Comprender cómo se mueven las partículas en el aire al inhalar es crucial para abordar enfermedades como la fibrosis quística, pero también para avanzar hacia el desarrollo de fármacos que, en lugar de inyectados, podrán ser inhalados. Durante la pandemia de la COVID diversos estudios apuntaron que las vacunas intranasales podían ser más eficaces que las administradas por vía venosa. Y, sin embargo, «por ahora este tipo de fármaco no se puede aprobar porque no es posible garantizar dónde va cada partícula del mismo. Y es ahí donde nuestros gemelos virtuales de vías respiratorias pueden propiciar un avance», considera esta física, porque permitirán modelizar cómo entran cada una de las moléculas y dónde se depositan exactamente.

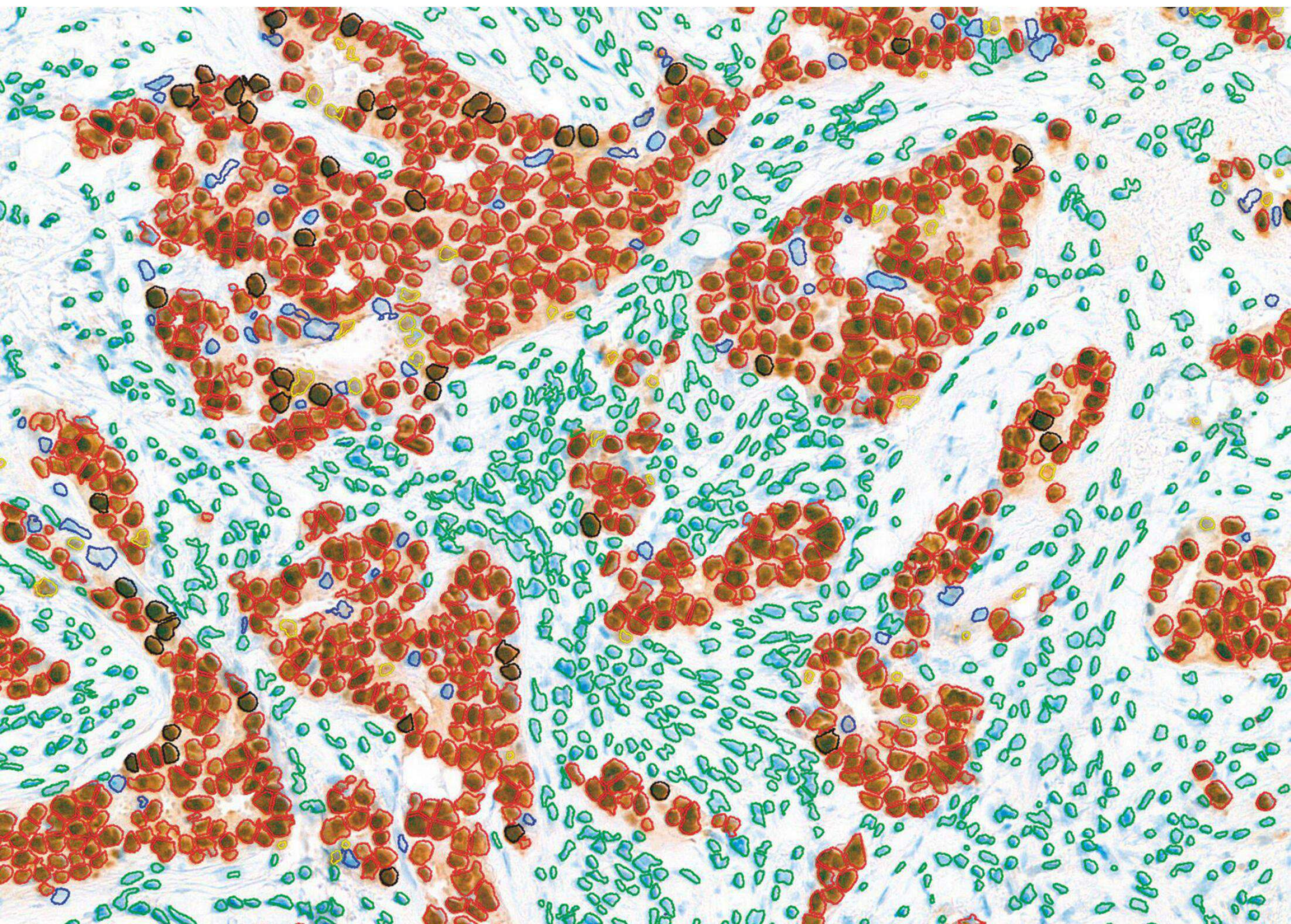
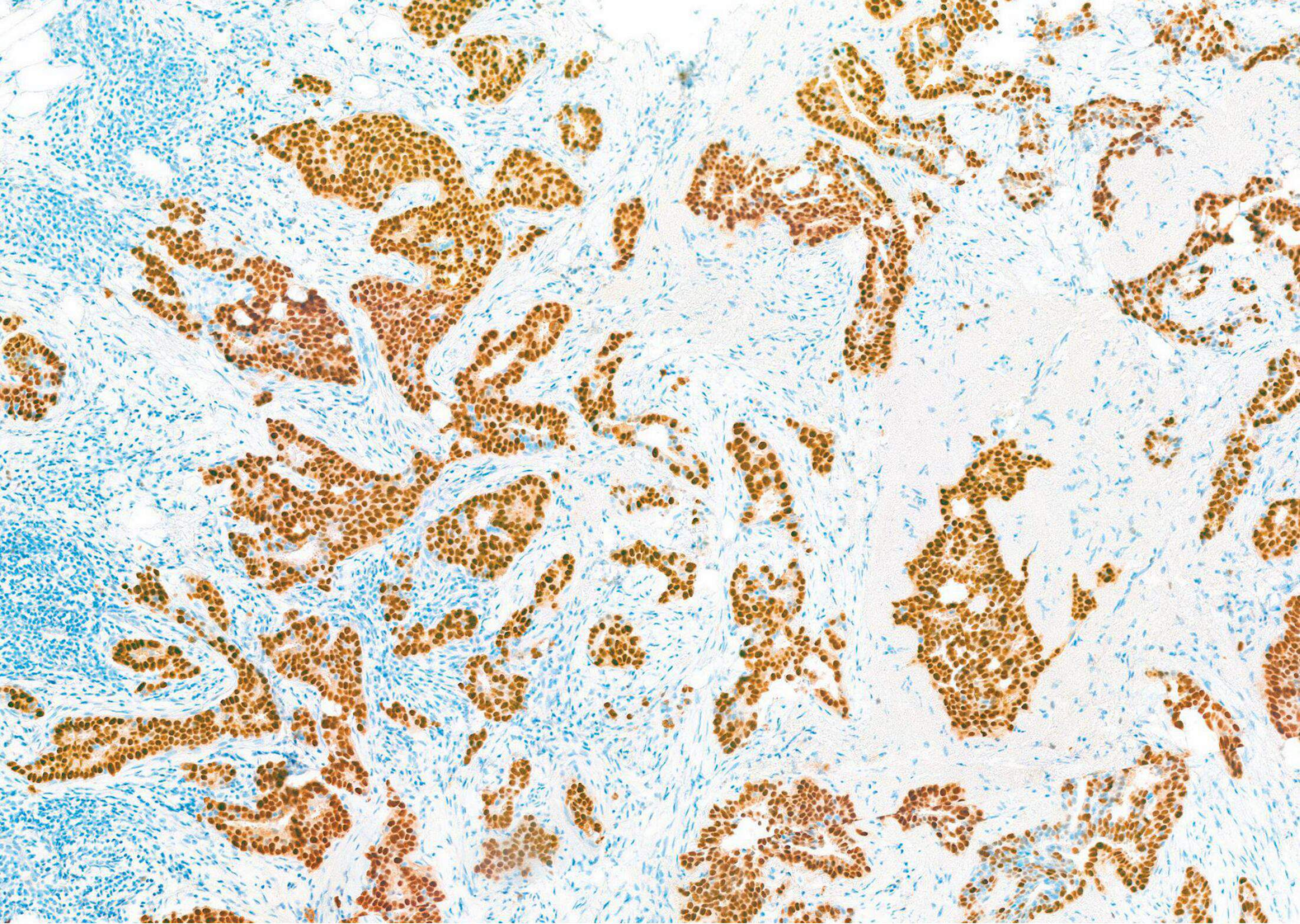
UNAS MESAS MÁS ALLÁ hay otro equipo del Barcelona Supercomputing Center (BSC-CNS) generando gemelos digitales de corazón en los que pueden simular una arritmia y ver qué sucede en el tejido cardíaco si se produce de forma repetitiva o cómo actúa un fármaco para tratarla. Estas copias digitales de órganos humanos moldeadas a partir de los parámetros de cada individuo también contribuyen a romper con los sesgos que tradicionalmente habían dominado la medicina. «En el caso del corazón está muy claro: solo se habían estudiado los síntomas de un infarto en hombres blancos de mediana edad, lo que ha propiciado que los síntomas en mujeres, que son muy distintos, hayan quedado diluidos y muchas hayan perdido la vida. Con los gemelos digitales esos sesgos de género se eliminan. Estamos avanzando hacia una medicina de precisión basada en pacientes reales», insiste Eguzkitza.

Por este motivo se trata de una línea de investigación muy potente y prometedora para científicos y empresas en todo el mundo. Y no solo en el ámbito de la biomedicina, donde también se están creando estas representaciones virtuales

IA PARA DETECTAR CÉLULAS CANCEROSAS

Digipatics es un programa pionero en el mundo llevado a cabo desde el Instituto Catalán de la Salud (ICS) que aplica inteligencia artificial y tratamiento digital a las imágenes obtenidas a través de una biopsia para mejorar su estudio, su almacenamiento y el posible diagnóstico de un cáncer. En la imagen superior se ven las células de un tumor de mama con tinción de los receptores de progesterona. Abajo, estos receptores en el mismo tumor, pero tras haberse aplicado una máscara generada por un algoritmo de inteligencia artificial que clasifica y rodea con un círculo las células cancerosas.

FOTOS: HOSPITAL VALL D'HEBRON DE BARCELONA



incluso de células, sino en el de la industria; por ejemplo, en la lucha contra el cambio climático. En este sentido, la Unión Europea ha lanzado la iniciativa Destination Earth, enmarcada en el Pacto Verde Europeo, que persigue mejorar nuestra capacidad para reaccionar y adaptarnos a los retos medioambientales planteados por el cambio climático mediante el desarrollo de una réplica digital de gran precisión de la Tierra. También se están generando gemelos virtuales que replican nuestro comportamiento en entornos digitales con el objetivo de ayudarnos en nuestra comunicación; no estaría mal tener una especie de secretario virtual que nos descargue de obligaciones digitales y nos ayude a recuperar algo de tiempo.

PASAN POCOS MINUTOS DE LAS NUEVE de la mañana y la actividad en la zona es frenética. La ronda norte de Barcelona transcurre justo por delante de nosotros, completamente colapsada, y la entrada al centro hospitalario es un trasiego continuo de personas, taxis, coches, ambulancias. Mientras espero a que llegue Ferran Marqués, el ingeniero de telecomunicaciones con quien me he citado, alzo la vista para contemplar el edificio principal del Hospital Vall d'Hebron, una construcción de mediados del siglo XX, de color rojizo y aspecto imponente y vetusto, alrededor de la cual se han ido disseminando con los años pequeños módulos prefabricados y otras construcciones de tres o cuatro plantas. Cuesta pensar que en este entramado hospitalario que parece anclado en el tiempo se esté fraguando la medicina del futuro.

Marqués me conduce por un laberinto de pasillos e instalaciones hasta Jordi Temprana, el patólogo con quien lleva cuatro años trabajando codo con codo. Junto al ingeniero Pau López, han desarrollado un proyecto, Digipatics, que utiliza algoritmos de inteligencia artificial para mejorar el diagnóstico del cáncer de mama y de pulmón. Es una iniciativa pionera y única en el mundo que ya está implementada en la red de hospitales que integran el Instituto Catalán de la Salud.

En su despacho, Temprana, médico adjunto del Servicio de Anatomía Patológica de Vall d'Hebron, está sentado frente a dos pantallas en

las que examina una imagen. «Es la muestra de un tumor de mama. Esto son linfocitos y todo esto de aquí, células tumorales», indica con el cursor. A diferencia de los radiólogos, que se mueven en una paleta de blancos y negros, los patólogos ven en escalas de color, sobre todo rosas y violáceos, que les permiten interpretar la morfología y reconocer patrones a partir de los cuales realizar un diagnóstico con el que, posteriormente, el oncólogo y el cirujano decidirán qué tratamiento es el más adecuado para cada paciente en concreto. Resulta paradójico que imágenes tan bellas puedan contener historias tan aciagas.

El proceso para llegar a un diagnóstico como los que cada día realiza Temprana desde este pequeño despacho sin ventanas es sumamente artesanal y requiere un ojo experto muy entrenado, como el suyo. Todo comienza con láminas del tejido obtenido en una biopsia, a las que se aplican tinciones que revelan la estructura de las células; el patólogo las examina con el microscopio para calcular biomarcadores de la enfermedad, y puede pedir nuevas tinciones sobre otras áreas de la muestra para cerciorarse del diagnóstico. El proceso no es tan sencillo como pudiera parecer: requiere, por una parte, de tiempo de observación para cuantificar las células que se ven en un pequeño fragmento de la muestra que han reaccionado a la tinción; y por otra, de mucha pericia, porque ese cálculo numérico se hace a mano, laboriosamente, como buscando agujas en un pajar.

«No tenía sentido trabajar así, más cuando en radiografía ya llevaban años digitalizando las pruebas», añade Marqués, responsable de los algoritmos de Digipatics con los que ha contribuido a dar un vuelco a todo el proceso.

Y es que ahora, tras realizarse la tinción de la muestra, esta se digitaliza con un escáner de alta precisión. De este modo se obtienen imágenes de 100.000 por 200.000 píxeles, enormes, de un giga de peso cada una, lo que equivale a guardar cerca de 200 canciones o 1,5 millones de mensajes de WhatsApp. Una sola imagen. Entonces entra en acción la IA desarrollada por este ingeniero de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) y su equipo, que rastrea y analiza esas

imágenes y después envía al médico un informe de cada caso. Dentro de muy poco, además, podrían ser capaces de ordenar los expedientes estableciendo prioridades y alertando al patólogo de los que pueden ser especialmente urgentes. Así, «al día siguiente el médico puede repasar los resultados y tomar decisiones en base a valores estadísticos mucho más sólidos. No tienen que restringirse a valorar un pedacito de la muestra, como ocurría antes por limitaciones humanas, sino que pueden evaluarla toda. Es un avance brutal», resume, satisfecho y orgulloso, Marqués. Verdaderamente lo es. Por el momento han desarrollado algoritmos de aprendizaje profundo capaces de detectar cuatro biomarcadores de cáncer de mama y otro de cáncer de pulmón.

Cerca del despacho de Temprana hay una puerta cuya placa reza: «Santiago Ramón y Cajal». Ante mi cara de incredulidad, Marqués asiente, divertido: «Sí, es su sobrino nieto y fue uno de los impulsores de Digipatics». Tiene gracia que dos generaciones después este médico e investigador haya recogido el testigo del que fue el primer Premio Nobel español y también se dedique a escudriñar la vida, aunque en lugar del microscopio ahora utilice la IA.

Para volver a captar mi atención, Temprana desgrana algunos de los principales logros del proyecto: «el quid de la patología digital es que los archivos de las biopsias, las previas y las actuales, están siempre disponibles al instante, sin degradarse, en un repositorio *online*. Además, como todos los hospitales estamos conectados en red, podemos aprender de la pericia de otros patólogos. Vamos hacia la oncología de precisión». Eso sí, puntualizan ambos investigadores antes de despedirnos, «ningún algoritmo hace un diagnóstico; de eso se encargan los médicos».

DIGIPATICS ES SOLO UN EJEMPLO de cómo la inteligencia artificial comienza a introducirse, aún de puntillas, en los hospitales para mejorar el diagnóstico y el tratamiento. De hecho, en la mayoría de los ámbitos de la biomedicina y la investigación ya hace tiempo que se utiliza este tipo de herramientas con probada eficacia. Su potencial es enorme para analizar un volumen de datos que se multiplica hasta el infinito

«ESTAMOS INVESTIGANDO CÓMO CREAR CÉLULAS HÍBRIDAS, DISEÑADAS GENÉTICAMENTE, PARA CURAR ALGUNOS TIPOS DE CÁNCER».

—SIDDHARTA MUKHERJEE
ONCÓLOGO

y desentrañar así patrones que están ocultos al ojo humano. Ana Teresa Correia de Freitas es una de las expertas en este campo y está liderando la implementación de dos programas complementarios de medicina del futuro en Portugal. El primero forma parte de la iniciativa europea del millón de genomas (1+MG), cuyo objetivo es permitir un acceso seguro a los datos genómicos a través de las fronteras para avanzar en la investigación y los tratamientos de salud personalizados en Europa. «Es uno de los mayores proyectos de genómica en todo el mundo y contribuirá a sentar las bases en este ámbito», asegura Correia. Catedrática del Instituto Superior Técnico e investigadora en el Instituto de Investigación INESC-ID, ambos en Lisboa, se ha encargado de implementar la infraestructura para lidiar con todo ese *big data* genómico.

Al mismo tiempo, esta científica computacional está implicada en otro proyecto en marcha en el país luso: la Iniciativa Nacional de Medicina Genómica, con la que se trazarán una hoja de ruta para implementar la genómica en la práctica clínica diaria. «Queremos entender qué riesgos corre la salud de la población portuguesa y usar esa información en la clínica, pero también en investigación», dice. Y añade que la IA nos ayudará a cuidar la salud de las personas. «Usando más datos y desarrollando unos algoritmos que entiendan aún mejor las imágenes, los médicos tomarán decisiones más adecuadas», asegura.

Ana Teresa Correia de Freitas es la encargada de implementar la infraestructura para crear un *big data* genómico en toda Europa que incentive tratamientos de salud personalizados.

FOTO: PEDRO VILELA

ANA TERESA CORREIA DE FREITAS

CIENTÍFICA DE LA COMPUTACIÓN

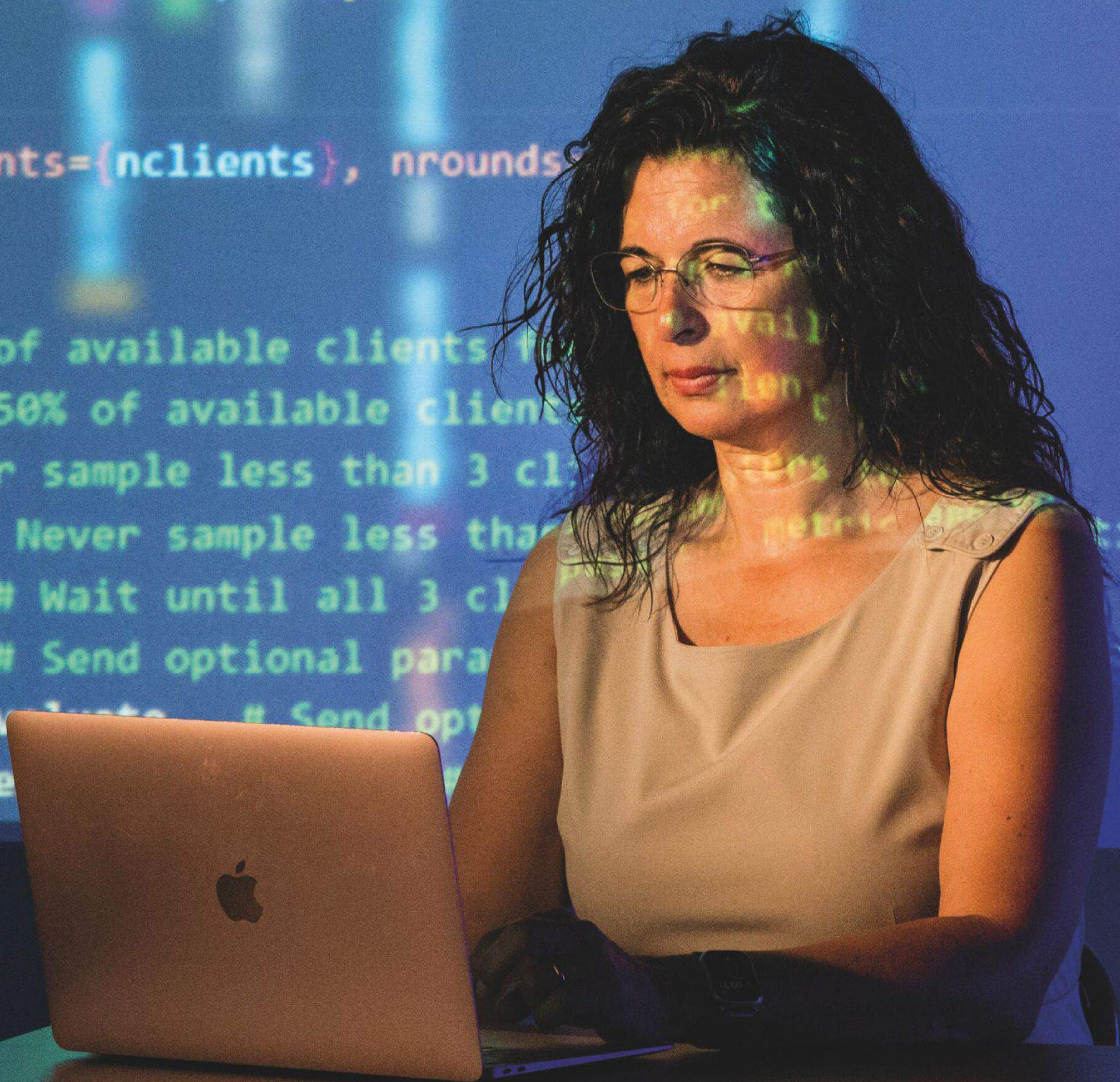
Es una de las pioneras en inteligencia artificial aplicada a la investigación médica en Portugal. Alaba su potencial: manejar millones de datos ayuda a diagnosticar y prevenir enfermedades. Su ámbito es la genética, en la que lleva trabajando más de una década.

«USANDO MÁS DATOS Y DESARROLLANDO UNOS ALGORITMOS QUE ENTIENDAN AÚN MEJOR LAS IMÁGENES, LOS MÉDICOS TOMARÁN DECISIONES MÁS ADECUADAS».

```
27     return {"server_round": server_round}
28
29     def configure_evaluate(server_round):
30         """Send round number to client"""
31         print(f":: Starting 'evaluate'")
32         return {"server_round": server_round}
33
34     def weighted_average(metrics: List):
35         # Multiply accuracy of each client
36         accuracies = [num_examples * m["accuracy"] for m in metrics]
37         examples = [num_examples for m in metrics]
38
39         # Aggregate and return custom metric 'weighted_average'
40         return {"accuracy": sum(accuracies) / sum(examples)}
41
42     def start_server(nclients, nrounds):
43         print(f'Start server is called with {nclients} clients over {nrounds} rounds')
44         # Create FedAvg strategy
45         strategy = fl.server.strategy.FedAvg(
46             fraction_fit=1.0, # Sample all clients to fit
47             fraction_evaluate=1.0, # Sample all clients to evaluate
48             min_fit_clients=nclients, # Minimum number of clients to fit
49             min_evaluate_clients=nclients, # Minimum number of clients to evaluate
50             min_available_clients=nclients, # Minimum number of available clients
51             on_fit_config_fn=configure_fit, # Configuration function for fit
52             on_evaluate_config_fn=configure_evaluate, # Configuration function for evaluate
53             evaluate_metrics_aggregator=WeightedAverageAggregator())
```



```
_round, "last_round": (server_round == nrounds), "output":  
d: int) -> Dict:  
    """  
    round #{server_round}..."  
_round, "last_round": (server_round == nrounds), "output":  
[Tuple[int, Metrics]]) -> Metrics:  
    # Average metrics by number of examples used  
    ["rmse"] for num_examples, m in metrics]  
    num_examples, _ in metrics]  
    # Average metric (weighted average)  
    metrics) / sum(examples)}  
):  
    nclients={nclients}, nrounds=  
  
FedAvg(  
    # Sample 100% of available clients for training  
    # Sample 50% of available clients for evaluation  
    # Never sample less than 3 clients for training  
    nclients, # Never sample less than 3 clients for evaluation  
    nclients, # Wait until all 3 clients have finished training  
    _fit, # Send optional parameters to clients  
    figure_evaluation, # Send optional parameters to clients  
    on_fn=we
```



Y tras una pausa, añade: «Ya tenemos algoritmos que superan algunas tareas de los médicos. La cuestión es si los médicos estarán dispuestos a usar esos algoritmos que a veces tienen dificultades para comprender y explicar».

ADEMÁS DE DIAGNOSTICAR MEJOR, los algoritmos, hábilmente diseñados para establecer una relación de confianza con el paciente y obtener de él la máxima información, pueden llegar a percibirse como más sensibles y «empáticos» que un médico de carne y hueso. En diversos experimentos con *chatbots* que han pasado visita a pacientes *online*, y a pesar de lo contraintuitivo que pueda parecer, los humanos atendidos no han sabido distinguir al médico de carne y hueso del de chips y silicio, e incluso han valorado como más explicativa y «humana» la charla que han mantenido con una IA que con un doctor real. Algo similar ocurre con los diagnósticos de enfermedades que es capaz de hacer ChatGPT.

Desde el emblemático Parque Nacional de Yellowstone, en Estados Unidos, donde Correia está pasando unas vacaciones en familia, la investigadora se pelea con la escasa cobertura de que dispone para explicar que en Portugal están trabajando en un proyecto para usar herramientas de *machine learning*, o aprendizaje automático, con las que establecer una clasificación que permite a los oncólogos discernir qué paciente tiene mayor riesgo de desarrollar cáncer de colon. «Este tumor está silente durante años, de modo que cuando se detecta por colonoscopia o por presencia de sangre en heces ya está avanzado. Ahora se ha visto que algunas bacterias concretas de la microbiota intestinal son capaces de acelerar su desarrollo».

En ese sentido, el Instituto de Medicina Molecular de Lisboa ha emprendido un proyecto en el que recogerá heces de 10.000 enfermos y 10.000 personas sanas, y Correia y su equipo desarrollarán algoritmos para asociar la forma de esas bacterias con el estadio del cáncer. «El objetivo es obtener biomarcadores tempranos que nos permitan predecir el riesgo». Y al final, nuevas herramientas y aproximaciones para intentar de una vez por todas ganar la batalla a una enfermedad tan antigua como la propia vida.





PRÓTESIS CON ALTAS CAPACIDADES HUMANAS

La recuperación sensorial tras una amputación es un reto para la investigación clínica. Esta prótesis, que recibe el nombre de Mia Hand, se conecta directamente a los huesos, los músculos y los nervios del usuario mediante unos implantes de titanio intramedulares en los huesos. Mia Hand utiliza inteligencia artificial para interpretar las señales cerebrales, lo que permite cumplir el 80 % de las actividades de la vida diaria y paliar el llamado «dolor fantasma» que suele acompañar la traumática pérdida de una extremidad.

FOTO: COSTANZA MAREMMI



CIRUGÍA ROBÓTICA: PRECISIÓN A DISTANCIA

Los llamados «robots cirujanos» permiten a un médico operar al paciente sin prácticamente tocarlo. Sentado frente a una pantalla, el especialista controla de forma remota el proceso, corta, cose o cauteriza con precisión mientras en la mesa de operaciones también se optimiza el control y la monitorización del paciente. En la imagen, el robot Versius, que se presentó en el Mobile World Congress de Barcelona en 2023 como un sucesor del conocido Da Vinci. Versius cuenta con articulaciones móviles, interacción directa de las manos con el instrumental y capacidad de visualización tridimensional.

FOTO: VERSIUS



VENCER EL CÁNCER, pero con nanorrobots, es lo que intenta Samuel Sánchez. En 2015 este catalán fue elegido por la revista *MIT Technology* como el investigador más innovador de menos de 35 años, una carta de presentación que no está nada mal –quizá por eso tiene la noticia colgada junto a la puerta de entrada de su laboratorio– para una de las mentes brillantes más destacadas de la nanorrobótica de todo el planeta. Me recibe en su despacho, una pequeña pecera, algo estrecha, en el Instituto de Bioingeniería de Cataluña (IBEC), ubicado en Barcelona, no muy lejos del BSC.

«Ya sé que otros jefes de grupo tienen oficinas más chulas y amplias, pero yo quiero estar aquí –confiesa con franqueza–. A los 14 años entré por primera vez en un laboratorio de química y me quedé tan fascinado que decidí que quería vivir en uno de ellos», añade, lo que provoca la sonrisa de su hija Júlia, que se acerca a la edad en la que su padre tuvo esta revelación. Hoy se ha saltado el último día de clase y lo acompaña. «Yo no quiero ser científica, al menos no química», dice con timidez. De momento «le tira más la psicología –apunta su padre–. Sebastián, mi hijo mayor, sí tiene más vocación científica».

Samuel Sánchez es uno de los pioneros mundiales en este campo de la tecnología que apenas tiene 20 años de existencia. «Cuando hablamos de nanorrobots, o nanobots, la gente suele imaginarse un clásico de *Star Wars*, un R2-D2 o un C-3PO con brazos y piernas microscópicos, pero nada que ver. Los nuestros copian la naturaleza. La imagen más similar sería la de un virus, como el SARS-CoV-2, que debido a la pandemia de la COVID todos sabemos qué pinta tiene: partículas redondas a las que les pones cosas encima, como las puntas del SARS, y que se mueven», dice. Su hija, sentada frente a un iPad, levanta los ojos y reacciona a lo que dice su padre. ¿Cuántas veces habrá escuchado esta explicación?

El investigador establece un símil que resulta muy comprensible, comparando un nanobot con un coche: el chasis sería la partícula; el motor, la enzima que la propulsa; el combustible, el líquido que necesita para moverse y que está en el organismo. Y en el maletero se puede colocar un fármaco e incluso un GPS, un radioisótopo

que, desde fuera del cuerpo, permita seguirlo. «El movimiento es la clave –insiste–, porque sin él sería simplemente una nanopartícula».

El grupo que dirige este químico publicó recientemente un trabajo revolucionario: demostró que un enjambre formado por millones y millones de nanobots es capaz de combatir el cáncer de vejiga de manera mucho más eficaz y eficiente que el tratamiento habitual. Esos nanobots son nanoesferas de sílice recubiertas de unas enzimas llamadas ureasa que reaccionan con la urea, un compuesto químico presente en la orina. Y esa reacción propicia la propulsión.

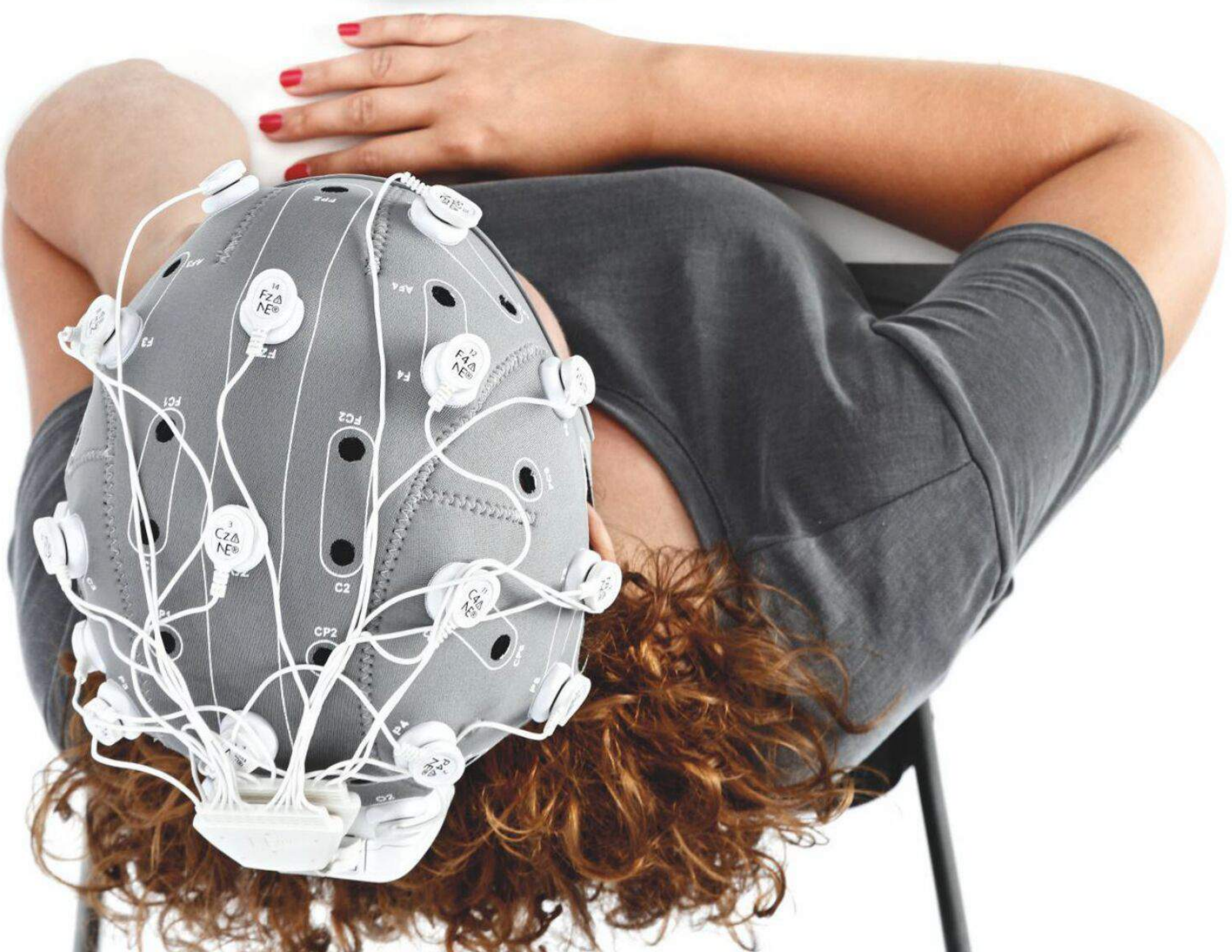
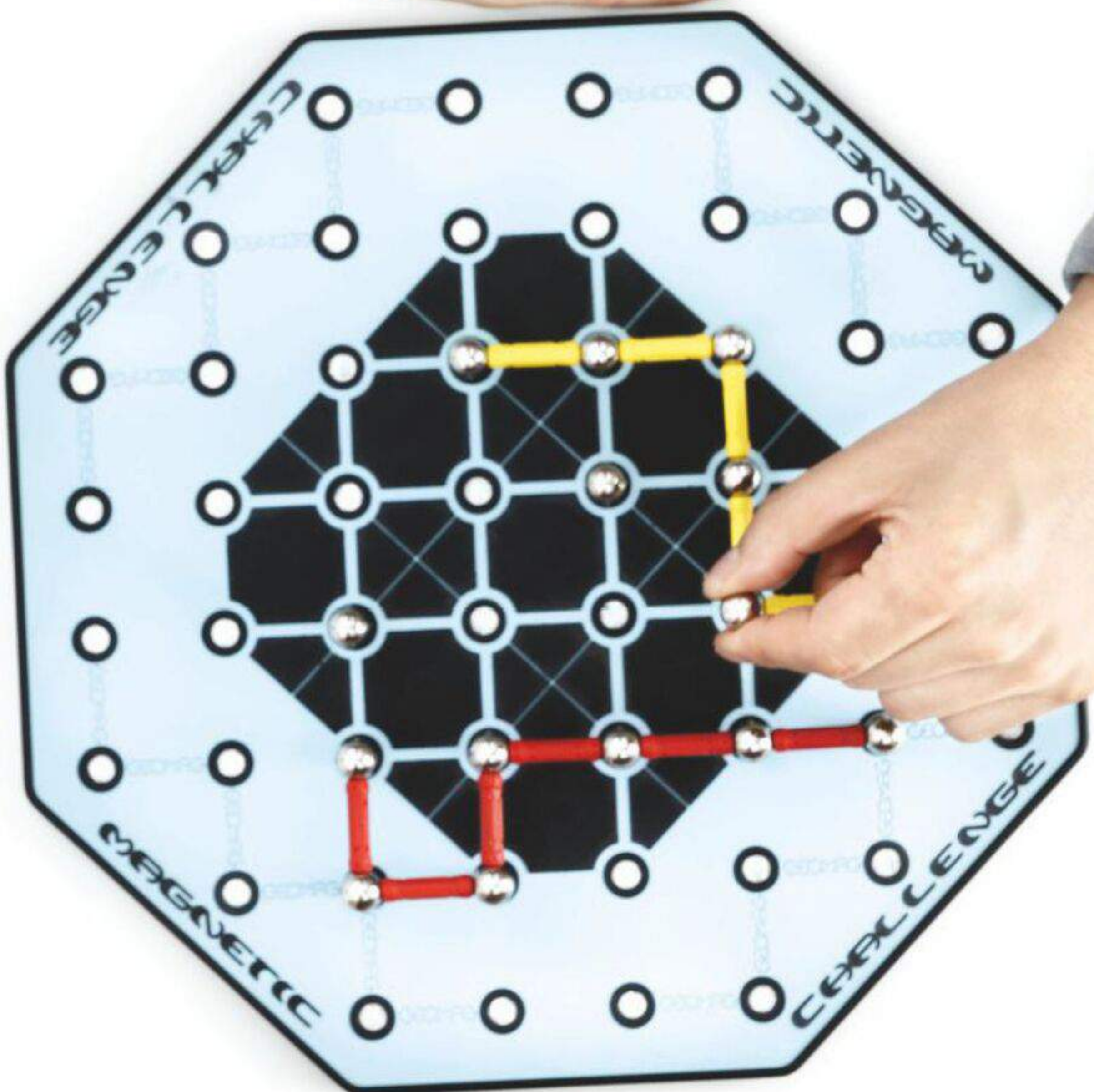
Con una sola dosis de esta terapia lograron reducir un 90 % el tamaño de los tumores de vejiga más comunes en un ensayo con ratones. Ese éxito ha llevado a Samuel Sánchez a crear la compañía Nanobots Therapeutics, con la que espera poder comenzar ensayos clínicos con humanos dentro de un par de años. Es el primer paso requerido para que la terapia dé el salto a la práctica clínica.

«A veces la vida te da un empujón para empezar a preocuparte por ciertas cosas», reflexiona.

ELECTROESTÍMULOS PARA EL SISTEMA NERVIOSO

La electroestimulación no invasiva es la base científica sobre la que se sustentan estos innovadores cascos creados por la compañía Neuroelectrics, una *start-up* lanzada hace 10 años por el matrimonio formado por la economista Ana Maiques y el físico y matemático Giulio Ruffini. Mediante unos sensores que producen pequeñas descargas eléctricas casi imperceptibles sobre la corteza cerebral, este casco puede medir la actividad cerebral (en la imagen de la derecha, también las interacciones entre dos sujetos) y a la vez generar una estimulación de gran ayuda para los pacientes de Parkinson o incluso con depresión.

FOTO: NEUROELECTRICS





El documental *Making Rounds* explica la labor y el trato de Fuster con los enfermos en el hospital Mount Sinai.

FOTO: MOUNT SINAI

VALENTÍ FUSTER *CARDIÓLOGO*

Autoridad mundial en cardiología y director de la Unidad de Cardiología del Hospital Mount Sinai, en Nueva York.

UN CORAZÓN MÁS INTELIGENTE

En un futuro próximo, al menos en lo que respecta a cardiología, los pacientes únicamente acudirán a los hospitales cuando tengan una urgencia o para someterse a pruebas o intervenciones importantes. El seguimiento con sus cardiólogos, lo que constituye la práctica ambulatoria, se derivará a la casa del paciente. En este sentido, ya existen tecnologías con un tamaño muy reducido, como ecocardiogramas portátiles tan pequeños como un libro electrónico, que permiten monitorizar al enfermo y que envían los datos al facultativo vía wifi.

El factor humano no se perderá. Los médicos visitarán a sus pacientes por videoconferencia, y cada cierto tiempo el personal de enfermería pasará por casa del paciente. Este dispondrá de más medicamentos tipo polipíldora: en una sola pastilla se concentrarán tratamientos para diversas enfermedades, lo que ayudará a que los pacientes no dejen las terapias pautadas.

En toda esta revolución de la cardiología, la IA desempeñará un papel clave, puesto que contribuirá a mejorar el diagnóstico, el pronóstico y el tratamiento. Para empezar, desde el punto de vista diagnóstico, ayudará

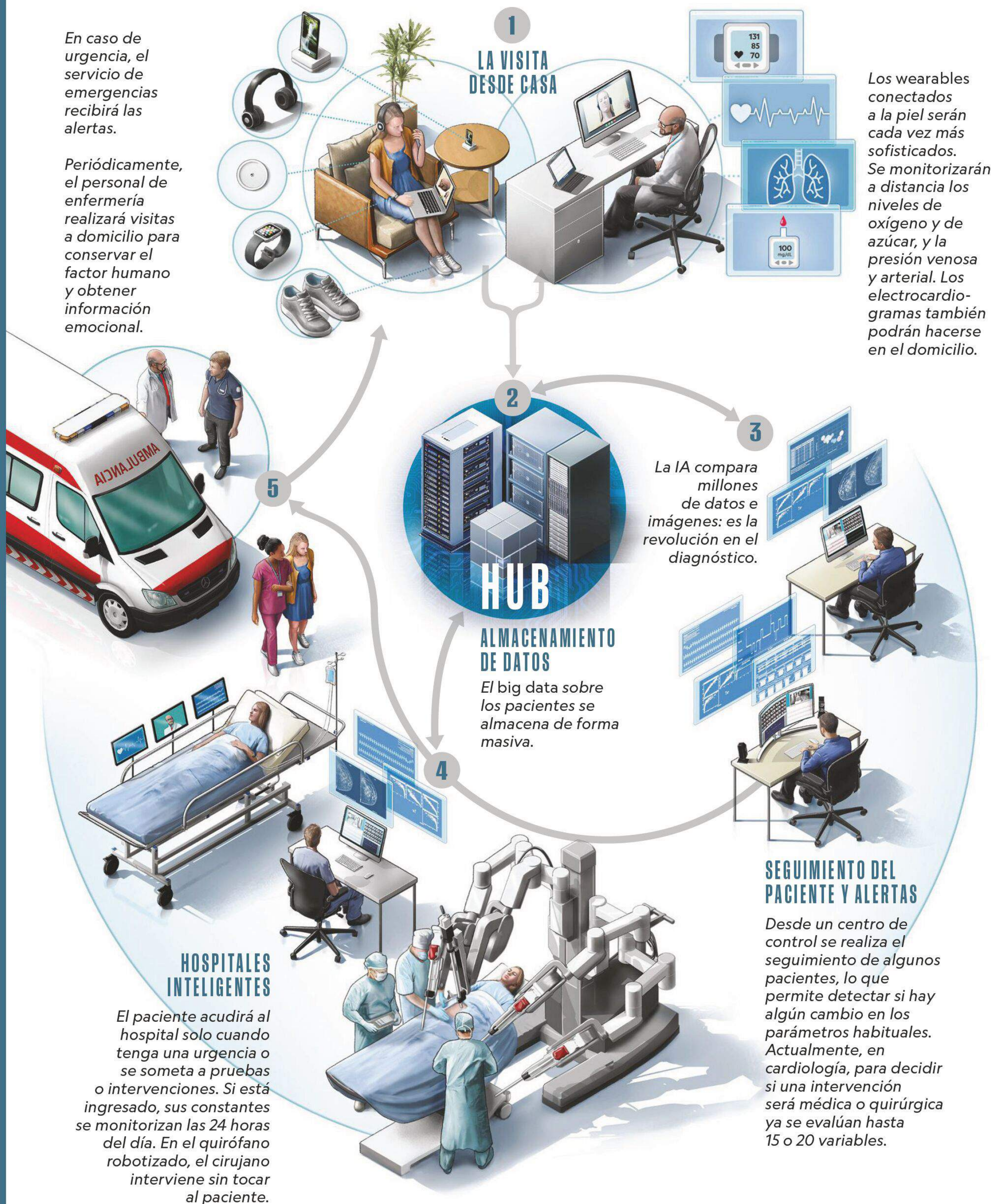
a encontrar en los electrocardiogramas patrones que el ojo humano puede haber pasado por alto. De hecho, ya se están empleando algoritmos de este tipo en las urgencias del hospital Mount Sinai de Nueva York, donde trabajo.

En cuanto al pronóstico, los algoritmos pueden analizar factores de riesgo en enfermedad cardiovascular, como presión arterial alta, tabaquismo, colesterol, diabetes o falta de ejercicio; también pueden evaluar hasta 4.000 indicadores, como hacemos ahora en el Centro Nacional de Investigaciones Cardiovasculares (CNIC) en Madrid; además, la IA puede aplicarse a las tecnologías de imagen para ver cómo están las arterias. La tecnología IA permitirá identificar cuáles son los factores importantes e incluso que un médico no experto pueda detectar el inicio de una enfermedad.

En lo que respecta al tratamiento, la IA tendrá un peso importante a la hora de decidir si una intervención terapéutica debe ser médica o quirúrgica: ahora ya disponemos de algoritmos que evalúan 15 o 20 variables a la vez y nos indican el método idóneo para cada caso.

CERCANÍA EN LA DISTANCIA

Los avances tecnológicos están cambiando la asistencia, el diagnóstico y el tratamiento de los pacientes. Tomando como ejemplo las cardiopatías, y con el asesoramiento del cardiólogo Valentí Fuster, en este gráfico visualizamos cómo la comunicación virtual, los wearables y la IA pueden ser revolucionarios.



Y es que poco después de que una *postdoc* entrara en su despacho y le propusiera investigar aplicaciones de nanobots para el cáncer de vejiga, a su tía le diagnosticaron precisamente este tumor. «No es el más prevalente, pero su incidencia va en aumento y tiene una recurrencia muy alta: los pacientes necesitan recibir tratamiento entre 6 y 14 veces para curarse», señala.

Los nanorrobots de Samuel Sánchez transportan el fármaco quimioterápico y solo actúan cuando se topan con una célula tumoral. Se eliminan al orinar y no pasan al resto del organismo, por lo que se reduce drásticamente cualquier potencial efecto secundario. Esta no es la única aplicación de los nanorrobots que investiga este químico, que ya indaga en pomadas cutáneas para curar heridas o infecciones bacterianas y en tratamientos intraoculares. Y ahora acaba de conseguir una ayuda de financiación del Consejo Europeo de Investigación (ERC) para regenerar con ellos tejidos en la rodilla.

EL SALTO DEL LABORATORIO A LA CLÍNICA ya lo ha logrado Siddharta Mukherjee, catedrático de medicina, oncólogo e investigador de la Universidad de Columbia, en Nueva York. Tan conocido por sus avances en biomedicina, sobre todo en cáncer, como por su capacidad para la divulgación científica, se conecta a la videollamada desde el hotel en que se aloja, puntual pero despeinado y ojoso. Hace apenas unas horas que acaba de aterrizar en España procedente de Nueva York y el *jet lag* le está jugando una mala pasada. Desde que aparece en la pantalla no puede evitar ir encadenando bostezos, tal vez algo desganado, lo que contrasta con mi entusiasmo como periodista, totalmente emocionada ante la posibilidad de conversar con uno de los grandes pensadores del siglo XXI, autor de *El emperador de todos los males: Una biografía del cáncer*, con la que ganó el premio Pulitzer en 2011, a la que han seguido obras más o igual de apasionantes; la última, *La armonía de las células*.

Comienza a explicarme que las terapias génicas y las terapias celulares son ya medicina del futuro hecha presente. Y asegura, provocador, que no tardaremos en ver cómo las enfermedades se curarán no con pastillas, sino con células.

«Ya lo hacemos con algunas enfermedades, como las hematológicas. Y dentro de poco podremos hacerlo con la anemia falciforme, la betatalasemia y otras, que trataremos con células modificadas genéticamente. Incluso la diabetes, porque de hecho ya podemos hacer células secretoras de insulina».

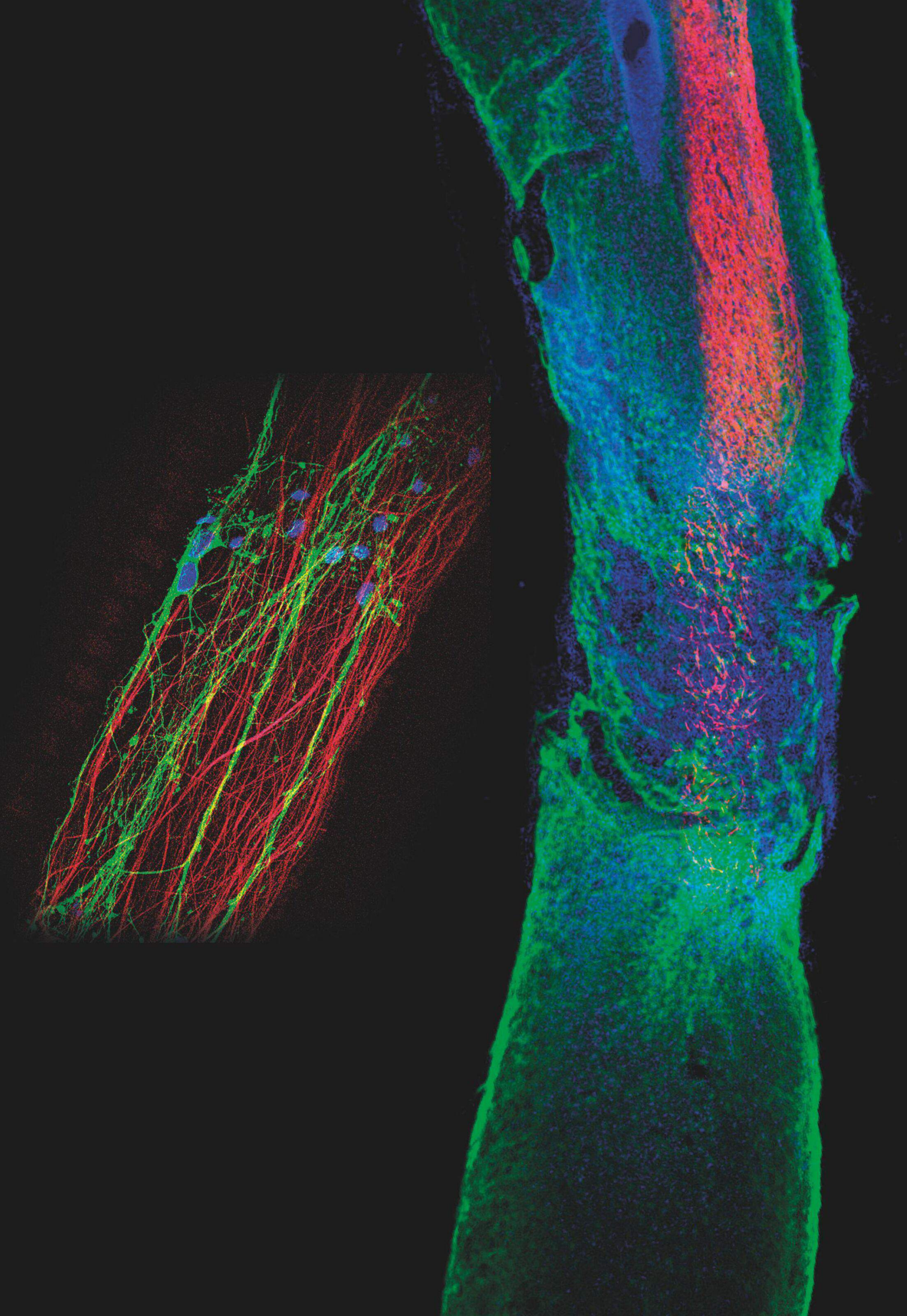
Una tras otra, Mukherjee realiza afirmaciones que dejarían boquiabierto a cualquiera. Por ejemplo, explica que ya se pueden crear neuronas que estimulen las que tenemos en el cerebro. Con ello podrían tratarse algunas enfermedades degenerativas o psiquiátricas, ya que estas creaciones de laboratorio podrían afectar a los estados de conciencia, el ánimo, el movimiento o cualquier síntoma de otro trastorno. Pero el discurso de Mukherjee es trepidante, y no acaba ahí la cosa.

«Estamos investigando cómo crear nuevos tipos de células híbridas inmunitarias para curar algunos tipos de cáncer. Y ya hemos conseguido células capaces de llegar con eficiencia a las que son cancerosas y eliminarlas –advierde–. Se trata de células totalmente nuevas, que no existían,

NANOFIBRAS SINTÉTICAS PARA REGENERAR LESIONES

El grupo que dirige Zaida Álvarez, investigadora Ramón y Cajal y líder júnior en el IBEC, explora biomateriales para regenerar el tejido del sistema nervioso central que puede perderse tras una lesión grave causada por un accidente de tráfico. Usa nanofibras (derecha, a la izquierda, neuronas motoras en un haz de nanofibras) que recubren las células con señales que recrean el ambiente que tenían antes de sufrir el daño y las estimulan para que repliquen ese tejido perdido. En esta sección longitudinal de la médula espinal (extremo derecha), los axones regenerados (en rojo) volvieron a crecer dentro de la lesión.

FOTOS: INSTITUTO DE BIOINGENIERÍA DE CATALUÑA (IBEC)



que diseñamos genéticamente y fabricamos. Y ya las estamos probando en un ensayo clínico para el cáncer de mama».

En su India natal, este oncólogo estadounidense tiene un proyecto en marcha de terapia celular en colaboración con el Hospital Clínic de Barcelona. En un centro de Bangalore ha logrado implementar una unidad de terapias de células CAR-T contra la leucemia linfoblástica aguda, el cáncer pediátrico más habitual. Los inmunofármacos se fabrican en el país asiático con la misma técnica que en Barcelona, a un coste ultrarreducido, y ya los están administrando a pacientes en un ensayo clínico. «Estamos obteniendo resultados esperanzadores con los que esperamos la aprobación de esta terapia y su comercialización a un precio muy asequible», informa. Medicina del futuro sí, pero para todo el mundo.

Cuando nos despedimos, apenas le queda una hora para acabar de prepararse la charla sobre terapias génicas y celulares que dará ante un grupo de investigadores. Muchos de ellos seguramente también estarán desarrollando «trajes a medida» para cada enfermedad y para cada paciente. El concepto de tratamiento universal ha quedado relegado al pasado. El presente y el futuro pasan por la precisión, por aplicaciones a medida más eficaces y precisas y con menos efectos secundarios deletéreos. Pronto los médicos probarán en miniórganos desarrollados a partir de nuestras células cómo va a funcionar un tratamiento; podrán bioimprimirnos tejidos para regenerar una lesión o incluso fabricar un hígado nuevo. Desde casa, una lentilla monitorizará nuestros niveles de glucosa en sangre y enviará la información a nuestro facultativo. Y en caso de que necesitemos una intervención, quirófanos robóticos equipados con tecnología 5G harán posible que nos operen los mejores especialistas del mundo desde donde sea que estén, en remoto.

Eso sí, en lo que la revolución de la medicina no podrá ayudarnos demasiado es en un reto que depende exclusivamente del ser humano: cuidarse siguiendo unos hábitos de vida saludables que contribuyan a prevenir la enfermedad. Para eso, de momento, no hay tecnología que valga. Tal vez, solo educación. □



A woman in a white, short-sleeved dress with a large, open, frayed hem stands in a modern, brightly lit interior. She wears a black headband and has a glowing, circular light on her chest. Another woman in a dark jacket is adjusting a small electronic device on her chest. The background features a staircase and large windows.

WEARABLES FUNCIONALES Y ESTÉTICOS

En un ejemplo distópico de la importancia de los *wearables* en el futuro, la diseñadora belga Jasna Rok, especialista en creaciones de moda con tecnología, presenta un vestido blanco en el Port House de Amberes, en Bélgica, que deja entrever las emociones de quien lo lleva a través de luces led de colores. Unos sensores cosidos al vestido también miden la frecuencia cardíaca, visible mediante una fuente de luz en el pecho, mientras que una diadema calibra la actividad cerebral de la modelo. Detrás de ella, la asistente de Rok ajusta los sensores antes de iniciar la sesión fotográfica.

FOTO: TON TOEMEN



Un cazador
de dinosaurios
tropezó con
el mayor
cementerio
africano de la
Edad de Piedra.
Más de dos
décadas después,
no puede dejar
de volver a él.

LOS SECRETOS DE



UN CEMENTERIO SAHARIANO

Texto de
PETER GWIN

Fotografías in situ de
PAOLO VERZONE

Fotografías de estudio de
REBECCA HALE

Los cráneos desenterrados en
Gobero, un remoto yacimiento
de Níger, datan de un tiempo
en el que el Sahara era verde.

El arqueólogo Boubé Adamou examina unos huesos, desenterrados por los fuertes vientos estacionales, durante la expedición a Gobero de 2022. Cada año el viento retira capas de arena y aparecen más huesos y objetos. «Siempre hay nuevas sorpresas», afirma.







**EN LO ALTO DE UNA
PEQUEÑA DUNA DEL
CORAZÓN DEL SAHARA,
UN EQUIPO DE CIENTÍFICOS
MIRABA FIJAMENTE UNA
TUMBA RECIÉN ABIERTA.**



Agadez, la ciudad más cercana a Gobero, se fundó miles de años después de que desapareciesen las praderas y el Sahara se tornase un desierto. En el siglo xv era una escala obligada de las caravanas de camellos que recorrían la ruta comercial entre el África central y el Mediterráneo.

Tres esqueletos humanos yacían de lado, como si se hubiesen quedado adormilados sobre la reseca arena marrón para no despertarse jamás.

Estaba a punto de caer la noche tras una de las últimas jornadas de la expedición a Gobero, un lugar situado en el desierto del Ténéré, en Níger. A menudo descrito como un desierto dentro de otro desierto, el Ténéré apenas recibe precipitaciones y está caracterizado por los monumentales mares de dunas móviles conocidos como ergs. Aquí la temperatura supera con frecuencia los 50 °C, se desatan cegadoras tormentas de arena sin previo aviso y las autoridades

nigerinas exigen que un pelotón de soldados acompañe a los visitantes para protegerlos de los bandidos. Pero este árido paisaje también alberga uno de los yacimientos arqueológicos más extraordinarios del mundo: un cementerio que data de hace casi 10.000 años.

Aquella misma mañana una estudiante universitaria llamada Hannah Moots, pertrechada con un pequeño pico de madera y una brocha, había empezado a excavar un cráneo cuya coronilla apenas asomaba del suelo. Trabajando con esmero, dejó al descubierto las cuencas de los ojos y la mandíbula, continuó cuello abajo hasta encontrar el hombro y siguió adelante por el brazo hasta dar con una concentración de falanges. Pero al llegar a ese punto se detuvo: allí había demasiadas falanges para una sola mano. Paul Sereno, el director de la expedición, se sumó a la tarea de Moots. Pronto descubrieron más huesos. Muchos más huesos.

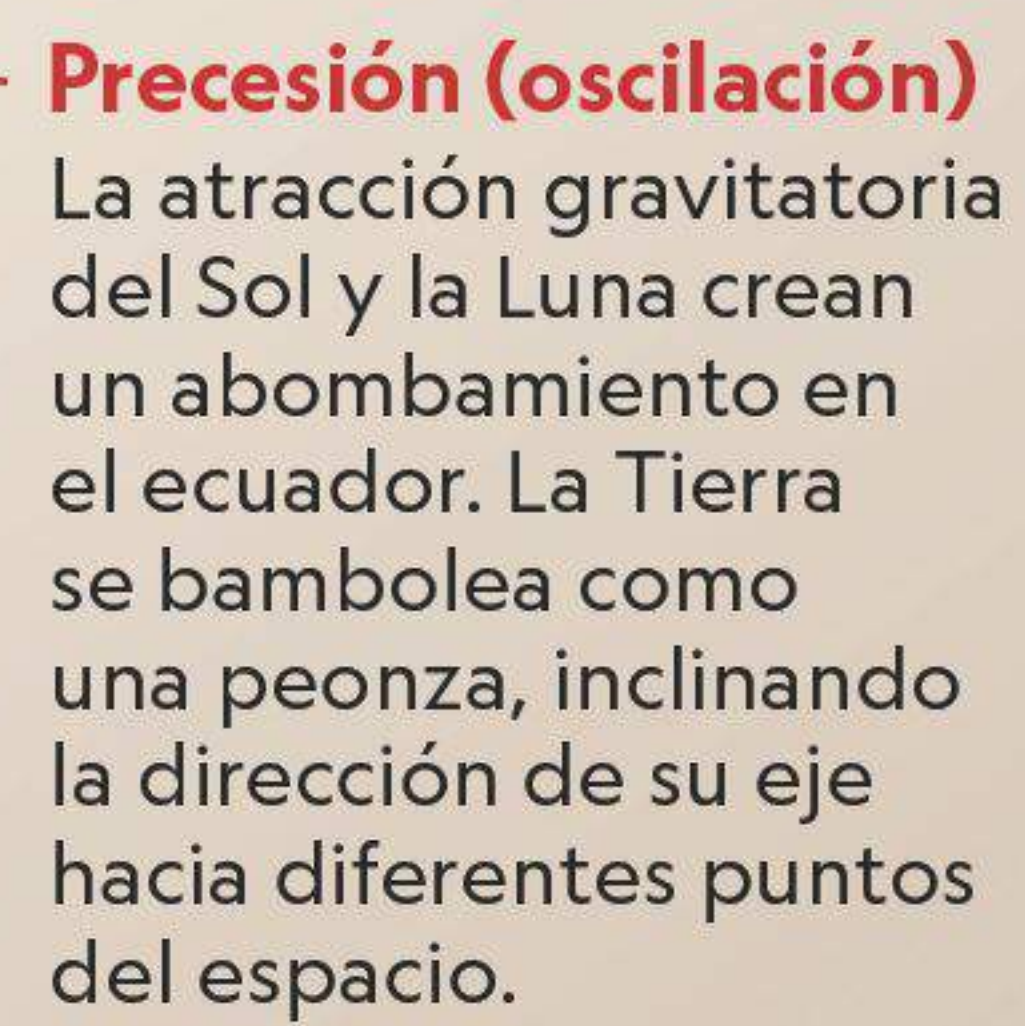
Oumarou Idé, un arqueólogo nigerino que trabajaba en las inmediaciones, se acercó a ver los progresos. A lo largo de la tarde, otros miembros del equipo – todos con la piel quemada por el sol y la ropa manchada por la sal – acudieron a la duna. Incluso algunos de los soldados se aproximaron, fusil en mano, a ver qué pasaba. Por fin, cuando la luz empezó a atenuarse y el aire del desierto a enfriarse, se hizo perfectamente distinguible una escena impactante.

La pelvis de uno de los esqueletos indicaba que se trataba de una mujer. Frente a ella había dos niños. Sus dentaduras revelaban que tenían alrededor de cinco y siete años. La criatura de cinco años estaba abrazada a la de siete, un brazo diminuto aferrado al cuello del otro pequeño. El brazo derecho de la mujer hacía de almohada a la cabeza del niño mayor. El izquierdo tocaba la mano izquierda del pequeño de cinco años en aquel revoltijo de falanges.

«Están cogidos de la mano», murmuró alguien.

La escena suscitó muchas preguntas: ¿se trataba de una madre con sus hijos? ¿Quién los había sepultado en ese tierno abrazo? ¿Y de qué habían muerto? Para haber sido dispuestos con semejante precisión, los tres tuvieron que fallecer casi al mismo tiempo y ser colocados en aquella posición antes de que apareciese el *rigor mortis*.

Hace miles de años el Sahara era húmedo y verde... y algún día podría volver a serlo. Debido a la gravedad, el eje de la Tierra oscila como una peonza, con lo cual periódicamente aumenta la radiación solar que recibe una zona durante miles de años seguidos. Más calor se traduce en mayor evaporación oceánica, lo que intensifica los monzones que propician la vegetación.



Mediterráneo
Desierto
Sabana
Pradera arbolada
Bosque seco
Pluvisilva

La gravedad de Júpiter y de Saturno también cambian cíclicamente la forma de la órbita terrestre, amplificando el efecto humidificador de la precesión.

22,1° — 23,4° — 24,2° — 24,5°

Actualidad Período húmedo

Un cambio de un grado en la inclinación puede provocar alteraciones climáticas extremas.

ACTUALIDAD

en la inclinación puede provocar alteraciones climáticas extremas.

PERÍODO HÚMEDO AFRICANO hacia 11.000-4.500 años atrás

PERÍODO HÚMEDO AFRICANO
hacia 11.000-4.500 años atrás

¿Fue una tragedia repentina o algún tipo de sacrificio ritual? No era evidente ninguna causa clara de la muerte: los dientes y los huesos sugerían que los tres gozaban de buena salud, y no se apreciaban señales de traumatismos. Sin tejido blando que examinar era imposible saber de qué murieron al mismo tiempo tres personas en apariencia sanas.

«Quizá se ahogaron», apuntó Sereno.

Yo estaba entre quienes se congregaron en aquella duna en 2006, preparando un artículo para la *Geographic*. Casi dos décadas después, convertido en padre de dos niños, sigo cautivado por el misterio que envuelve esta escena, aunque es solo uno de los muchos misterios que desde entonces han emergido en este lugar. Igual que el Ténéré es un desierto dentro de otro desierto, Gobero es un enigma científico dentro de otro enigma, el que ha obsesionado a Sereno, Idé y muchos otros expertos que siguen buscando pistas, tratando de trazar una imagen detallada de un mundo perdido.

Así que cuando Sereno me llamó en 2022, poco después de levantarse los confinamientos de la pandemia de la COVID-19, y me ofreció la oportunidad de volver a Gobero, dije que sí.

LA IDEA DE TRES PERSONAS ahogándose en el Sahara suena ridícula si no se tiene en cuenta que el Sahara no siempre ha sido un desierto. De hecho, se transforma de desierto en sabana exuberante más o menos cada 21.000 años. Una peculiaridad de la mecánica planetaria de la Tierra hace que periódicamente la inclinación de su eje experimente una leve variación, aumentando así la cantidad de radiación que incide en el hemisferio norte, lo que a su vez arrastra las lluvias estacionales de África hacia zonas más septentrionales. Durante millones de años, este ciclo de desplazamiento de los monzones ha generado numerosos períodos húmedos en el Sahara. El más reciente empezó al final de la última glaciación, hace alrededor de 12.000 años, y se prolongó hasta hace unos 4.500 años.

La tecnología actual proporciona a los expertos una buena imagen de cómo era aquel Sahara

verde. Los satélites han identificado antiguos cauces fluviales y orillas de lagos, entre ellas el perímetro original del lago Chad, que en su momento álgido fue mayor que todos los Grandes Lagos de América del Norte juntos.

Pero existen vestigios aun más obvios de aquel Sahara verde: los miles de grabados y pinturas descubiertos en formaciones rocosas de toda la

Era imposible saber de qué murieron a la vez tres personas en apariencia sanas. «Quizá se ahogaron», apuntó Sereno.

región, que dan fe de la presencia de prósperas comunidades de cazadores-recolectores. Aquellos artistas immortalizaron figuras ataviadas con ricos tocados que arrojaban lanzas y disparaban flechas. Pero sus motivos principales eran los animales que veían: hipopótamos, jirafas, elefantes, rinocerontes y antílopes, especies que hoy se asocian a zonas más húmedas de África.

Pese a estas vívidas representaciones, sabemos muy poco de aquellas gentes. En el siglo XX se localizaron unos cuantos yacimientos arqueológicos significativos en el Sahara. En las excavaciones aparecieron ejemplos de cerámica e industria lítica, atisbos aislados de las culturas del Sahara verde. Pero la intensa radiación solar, los fuertes vientos y las arenas móviles han dispersado, enterrado y destruido la mayor parte de las pruebas de su existencia.

Por eso fue poco menos que un milagro que Sereno se topase con Gobero. Él no suele encontrar enterramientos humanos, pues sus principales sujetos de estudio vivieron millones de años antes que los humanos. Desde principios de los años noventa este paleontólogo de la Universidad de Chicago y Explorador de National Geographic ha sido noticia por sus descubrimientos de nuevas especies de dinosaurios en el Sahara, como *Afrovenator*, un carnívoro y veloz corredor, *Suchomimus*, un espinosáurido del tamaño de un autobús con cabeza de cocodrilo, y *Jobaria*, un herbívoro de 20 metros y cuello alargado.

EL MISTERIO DE UNA TUMBA

En el Sahara húmedo de hace miles de años, los humanos prehistóricos vivían y enterraban a sus muertos cerca de un gran lago alimentado por manantiales. Una sepultura contenía los esqueletos de una mujer y dos niños inhumados juntos (foto, páginas siguientes). El polen hallado debajo de los esqueletos sugiere que fueron enterrados con flores.

ILUSTRACIÓN DE
CHRISTOF GROBELSKI

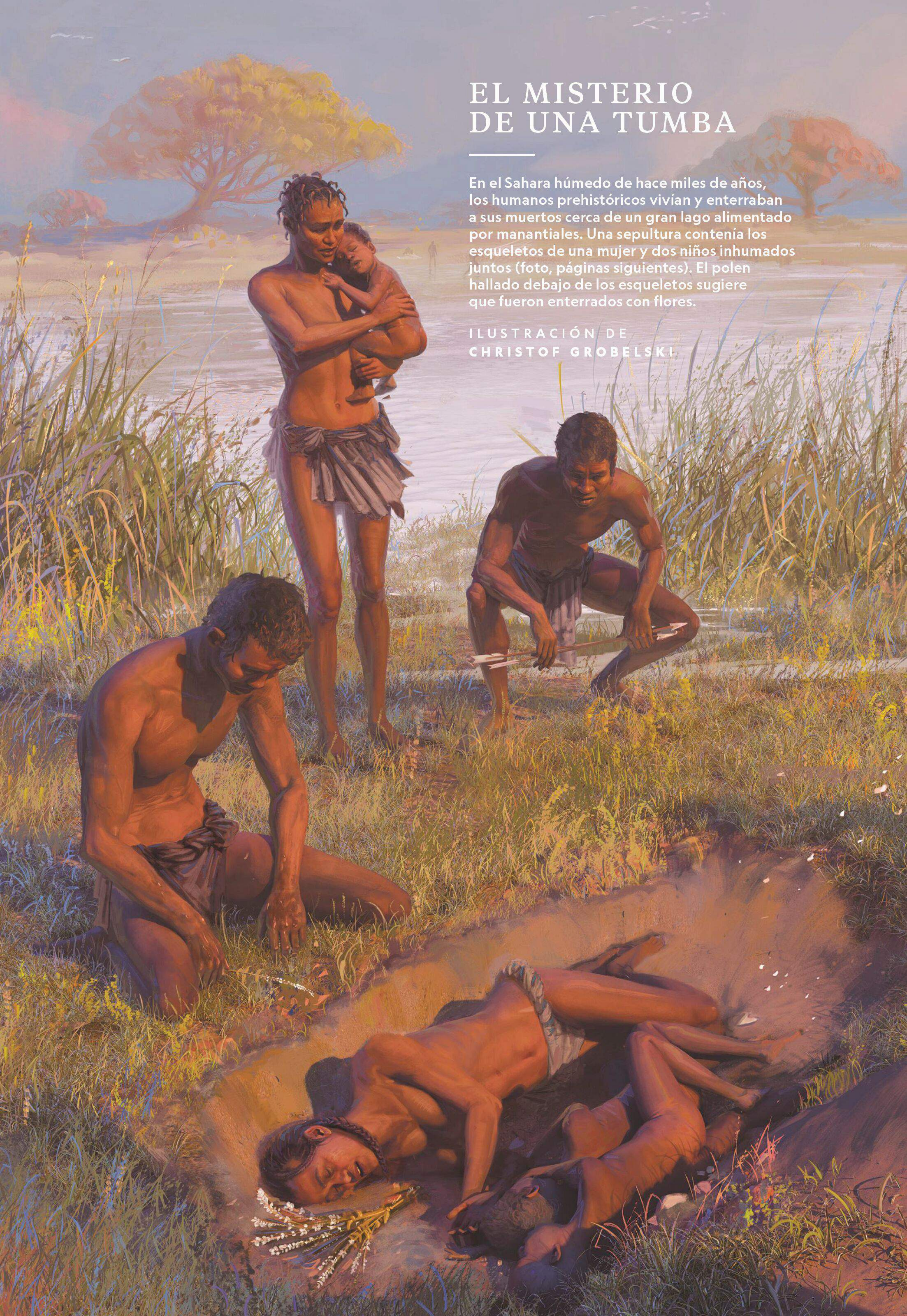




GRÁFICO: MÓNICA SERRANO,
PATRICIA HEALY, NGM.
FUENTES: PAUL SERENO,
UNIVERSIDAD DE CHICAGO;
CHRISTOPHER STOJANOWSKI,
UNIVERSIDAD ESTATAL
DE ARIZONA





TRIPLE ABRAZO

Una de las sepulturas más enigmáticas halladas en Gobero es la de una mujer y dos niños que fueron depositados en un abrazo. Los dientes de los pequeños revelan que al morir tenían cinco y siete años. Se cree que las cuatro puntas de flecha de factura perfecta que

aparecieron en la tumba se colocaron en el momento de la inhumación. Los científicos piensan que los tres murieron más o menos al mismo tiempo, pero no pueden determinar la causa. Los huesos y dientes indican que gozaban de buena salud, y no muestran signos de violencia.

LA NIÑA DEL BRAZALETE

Excavada en una expedición de 2005, la tumba de una niña de 10 años enterrada hace unos 4.900 años parece ser la más reciente de Gobero. En su brazo lleva un brazalete de marfil de hipopótamo. «Es muy raro encontrar niños en sepulturas neolíticas con joyas como esta»,

explica el director de la expedición, Paul Sereno. También es poco habitual que la enterrasen a pocos metros de un hombre sepultado casi 5.000 años antes. «Es más o menos el tiempo transcurrido desde el primer faraón egipcio hasta mi abuelo», dice Sereno.





Un collar encontrado
en otro punto de
Gobero presenta
una cuenta de piedra
más otras nueve y
un colgante de marfil
de hipopótamo.



En el año 2000, Sereno buscaba más fósiles de ese estilo al frente de una expedición al Ténéré. El equipo dedicó una mañana entera a recorrer el paisaje en un convoy de Land Rovers cerca de una cresta rocosa. Cada poco se detenían para buscar fósiles a pie. Justo cuando estaban a punto de volver al campamento, Mike Hettwer, el fotógrafo de la expedición, se alejó un poco y se dirigió hacia tres pequeñas dunas. Las encontró cubiertas de huesos humanos, fragmentos de cerámica, abalorios, puntas de flecha y otros objetos de piedra. «Estaba todo tirado en la arena –me contó–, mirases donde mirases».

Bido Dindine, uno de los guías tuareg de la expedición, dijo que los pastores de camellos del lugar llamaban Gobero a aquella zona.

También había numerosos huesos de animales. Sereno reconoció rápidamente huesos de hipopótamos, jirafas, peces, cocodrilos y tortugas. «Todos los animales que encontramos en el Serengeti estaban ahí».

Junto a las dunas encontraron el lecho de un lago seco, lo que explicaba la gran concentración de animales acuáticos. «Había tanto que asimilar... Era apabullante», recuerda Sereno. Hicieron un rápido reconocimiento y calcularon que la zona contenía más de 200 enterramientos.

Con el tiempo, el paleontólogo descubrió que las tres dunas estaban protegidas por una corona de rizoconcreciones, un tipo de concreción que se forma alrededor de las raíces de los juncos y otras plantas. En la práctica funcionaba como una corteza protectora que preservaba las dunas. Cuando las rizoconcreciones empezaron a resquebrajarse, los esqueletos comenzaron a emerger. Había cráneos semienterrados, manos que asomaban de la arena, costillas desperdigadas.

«Las rizoconcreciones explican que los enterramientos sobreviviesen miles de años. Cualquier hueso expuesto tiene los días contados», dice Sereno, aludiendo a los vientos estacionales del harmatán, que transportan polvo sahariano por toda el África occidental hasta el Atlántico.

Me enseñó la foto de un cráneo tomada en la expedición de 2000 y otra del mismo cráneo hecha en el mismo lugar cinco años después. Gran parte del hueso se lo había comido la arena. «Esto es lo que hace el desierto», dijo Sereno.

PREPARAR UNA excavación arqueológica en Níger es complicado. El país supera en tamaño a Francia, Alemania e Italia juntas, y la mayor parte de su superficie es desierto árido con escaso o nulo acceso por carretera. Desde que se independizó de Francia en 1960, Níger ha vivido una serie de golpes militares y conflictos étnicos, ha intentado en balde diversificar su economía de base agraria y todavía hoy acusa una escasez crónica de alimentos y fármacos. Como consecuencia, las solicitudes de científicos extranjeros para explorar sus remotos desiertos orientales deben pasar por un largo y tortuoso proceso de aprobación oficial.

«A muchos nigerinos les cuesta comprender el valor de los fósiles de dinosaurio y las piezas arqueológicas que tenemos –me contó Sidi Amar Taoua, guía turístico de la ciudad desértica de Agadez–. La mayoría de la población está preocupada por el acceso al agua potable, la escolarización de sus hijos, el empleo y la seguridad».

En el norte, el pasado colonial y las minas de uranio explotadas por empresas francesas han influido en la opinión de algunos ciudadanos sobre los forasteros que vienen a excavar en sus desiertos. «Algunos creen que buscamos oro o petróleo», me dijo Dindine. El recelo aumentó cuando el Ejército estadounidense construyó una gran base de drones en Agadez para llevar a cabo misiones de vigilancia en toda la región.

Tras el descubrimiento inicial, Sereno pudo organizar cuatro expediciones a Gobero y sacar tiempo de otras cinco excavaciones de fósiles de dinosaurios para volver a visitarlo. Algunos años no ha podido acercarse al lugar por problemas de seguridad: una rebelión tuareg y las amenazas de grupos terroristas instalados en zonas de Níger y Mali.

Cada vez que retornaban y plantaban las tiendas cerca del antiguo lecho del lago, los científicos se preguntaban qué encontrarían. ¿Y si los vientos del desierto habían arrasado definitivamente las pequeñas dunas? ¿Habrían estado hurgando el yacimiento nómadas curiosos? ¿Lo encontrarían depredado por los saqueadores? Pero al final, siempre salían a la luz nuevos descubrimientos.

Aparecieron vasijas de cerámica con dibujos diversos, un colmillo de facóquero, los esqueletos

de un sapo y de una pitón. Grandes anzuelos y puntas de arpón, entre ellas una confeccionada con una mandíbula de cocodrilo. Puntas de flecha de fina factura en felsita verde, jaspe rojo, cuarzo lechoso y hasta madera petrificada. También había cuentas de cáscara de huevo de avestruz y colgantes de marfil de hipopótamo y amazonita.

Se localizaron varios muladares (basureros) prehistóricos repletos de raspas de percas del Nilo y peces gato, así como una pila de conchas de mejillones. Hasta la arena escondía vestigios: polen de palmeras e higueras, espadañas y otras plantas propias de zonas húmedas.

Pero los hallazgos que dejaron boquiabiertos al equipo fueron los enterramientos. «Hallamos esqueletos de todas las edades: ancianos, adultos, adolescentes, niños, bebés», explica Sereno. La datación por radiocarbono sitúa la tumba más antigua, la de un hombre de 1,85 metros de altura que había sido sepultado en cucullas, en los primeros tiempos del Sahara verde, hace unos 9.500 años. La más reciente, la de una niña de 10 años que lucía un enorme brazalete de marfil de hipopótamo, data de unos 4.900 años. Entre ambas median unos cinco milenios. «Es más o menos el tiempo transcurrido desde el primer faraón egipcio hasta mi abuelo –dice Sereno–, y todo en esta reducida zona».

Los enterramientos suelen dividirse en dos grandes categorías. En los más antiguos, los cuerpos de los fallecidos fueron enterrados en la misma posición que el hombre de 1,85 metros, con los brazos plegados contra el torso y las rodillas apretadas contra las costillas. Una hipótesis sostiene que al menos algunos de ellos se sepultaron envueltos en prietas mortajas, quizás en pieles de animales.

Idé, jefe de arqueología del Instituto de Investigación de Ciencias Humanas de Níger, explica que, a juzgar por las dataciones, estas tumbas debían de formar parte de lo que los arqueólogos llaman la cultura kiffiense, un pueblo de pescadores-recolectores que desapareció hace unos 8.000 años. Más o menos en la misma época los enterramientos de Gobero se inundaron, y permanecerían sumergidos durante varios siglos.

Las sepulturas más recientes, apunta Idé, pertenecen al pueblo teneriense, que llegó unos mil

UN LAGO EXTINTO

Durante milenios, el lago somero de Gobero creció y menguó. Llegó a alcanzar 13 kilómetros cuadrados e inundó algunas tumbas, pero cuando los recursos hídricos disminuyeron se redujo a una décima parte de su máxima extensión.



años después del final de los enterramientos kiffienses. Basándose en pruebas halladas en otros yacimientos, algunos expertos creen que los tenerienses se enmarcaban en las primeras culturas de pastores nómadas de la última fase del período del Sahara verde.

En Gobero, los tenerienses aparecen casi siempre colocados de lado, como si estuviesen dormidos. En una tumba, una mujer sostiene a un recién nacido; posiblemente murieron ambos en el parto. Un chiquillo de 12 años yace con las manos entrelazadas bajo la cabeza a modo de almohada, con un pequeño esqueleto de pájaro agarrado en la mano derecha. A escasa distancia, un hombre parece tener dos dientes limados en punta para que parezcan colmillos. En otro punto, un hombre está sentado sobre un gran caparazón de tortuga; otro lleva una vasija de cerámica en la cabeza.

En Gobero, un equipo empieza a retirar la arena de un esqueleto humano semienterrado. En cuanto los huesos quedan expuestos a los potentes vientos del Sahara, queda poco tiempo para rescatarlos antes de que se vean reducidos a la nada.



Estas sepulturas parecen querer comunicar algo sobre el difunto. Cuando los arqueólogos excavan una tumba suelen desarticular los esqueletos si piensan llevárselos al laboratorio. Sereno quería conservar las figuras más importantes e inusuales de Gobero en sus llamativas posturas, por lo que recurrió a una técnica que usan los paleontólogos para conservar los fósiles de dinosaurio. Cavó zanjas alrededor de algunos de los enterramientos más interesantes y los cubrió de yeso, lo que permitió al equipo extraerlos *in situ* para transportarlos a su laboratorio.

La extracción de restos humanos es un tema muy delicado, pero hay argumentos de peso para

estudiar los enterramientos de Gobero en un laboratorio moderno. Los huesos contienen cantidades ingentes de información, afirma Chris Stojanowski, profesor de la Universidad Estatal de Arizona que formó parte de la expedición de 2006. Desde entonces estudia los esqueletos extraídos en aquel viaje. «¿Ve todo esto? –me dijo en una reciente videollamada por Zoom, girando la cámara para mostrarme las torres de libros y papeles–. Todo es investigación sobre Gobero».

Stojanowski analiza restos óseos para averiguar cómo interactuaban los humanos con su entorno, qué enfermedades padecían, qué signos reveladores de su estilo de vida han quedado

Rodeado de miembros de la expedición, Paul Sereno examina un fósil de hipopótamo en Gobero en 2022. Dos décadas antes se topó con el yacimiento cuando buscaba huesos de dinosaurio. Desde entonces ha regresado ocho veces para estudiar sus enterramientos.



grabados en sus huesos y sus dientes. Una de las revelaciones más sorprendentes fue que apenas ha identificado lesiones. Una persona sobrevivió a una fractura de cráneo, pues estaba curada por completo. Una mujer sufrió una herida en el peroné de la que también se curó. Incrustados en el hueso había fragmentos de roca congruentes con los restos que dejaría una punta de flecha.

«Al margen de esto, no veo ningún signo verdadero de violencia», dice Stojanowski.

Tampoco parece que aquellas gentes estuviesen sometidas a un estrés significativo por hambre, sequía o enfermedad crónica. A medida que se forman, los dientes van acumulando capas

microscópicas de esmalte –del mismo modo que los árboles añaden nuevos anillos de crecimiento–, y los períodos de estrés agudo, traumas incluidos, quedan grabados en forma de interrupciones en las capas. Con la esperanza de arrojar luz sobre el triple enterramiento, Stojanowski hizo sacar láminas delgadas de los molares de los dos niños y las estudió al microscopio; los resultados no revelaron indicios de estrés significativo.

Otro descubrimiento fue que aquellas personas no parecían desplazarse. Las idas y venidas de los individuos nómadas pueden rastrearse cotejando la firma de los isótopos de estroncio presentes en los dientes –procedentes de las

plantas y animales que comían y del agua que bebían— con el estroncio del lecho rocoso de los lugares que visitaban. Pero los individuos que Stojanowski ha estudiado muestran una misma firma básica. «En realidad no se movían mucho».

Sereno ha localizado más pruebas de que Gobero era un asentamiento permanente. Sus equipos han recogido otolitos, las estructuras

No podía dejar de preguntarme qué secretos guardaba Gobero y cuántos seguirían siendo un misterio para siempre.

óseas del oído interno de los peces. Al igual que las capas de esmalte de los dientes, los otolitos acumulan un anillo nuevo cada temporada. El más externo indica cuándo se pescó el ejemplar. Los otolitos hallados en los muladares de Gobero apuntan a que allí se pescaba todo el año.

Una de las mayores sorpresas fue que de entre los miles de huesos de animales hallados en el yacimiento, solo se ha identificado un hueso bovino. ¿Cómo es que en los vestigios de una cultura de pastores como la de los tenerienses no aparecen más pruebas de la presencia de vacas? Sereno cree que la respuesta puede ser, simplemente, que los habitantes de Gobero no eran ni pastores ni nómadas. «En Gobero tenían casi todo lo que necesitaban, y adaptaron su estilo de vida a aquel lugar en concreto».

CUANDO SERENO llegó a Níger en 2022 después de tres años de ausencia, se encontró con las dificultades habituales. Una huelga de controladores aéreos hizo que se cancelasen los vuelos a Agadez. La escolta que necesitaba la expedición se retrasó porque el Ejército nigerino debía encargarse de la seguridad de unas festividades tradicionales. Sereno intentaba aprovechar al máximo aquel viaje. Tenía que excavar varios yacimientos de dinosaurios, pero había reservado cuatro días para Gobero. Los retrasos fueron acumulándose y al final los cuatro días se quedaron en uno.

Cuando el convoy de Land Rovers y vehículos militares llegó por fin a Gobero, casi no reconocí el yacimiento. La línea de grandes dunas al este que había utilizado para orientarme en 2006 se había reducido y alejado. Los dos o tres rodales contados de acacias próximos al lecho del lago eran ahora un bosquecillo cuajado de insectos y pájaros cantores. Incluso sobresalté a una gran liebre de El Cabo que salió corriendo de detrás de un matojo.

Sereno se apresuró a subir a una de las dunas para revisar un enterramiento que planeaba excavar, mientras otros integrantes de su equipo se dispersaban en busca de fósiles y objetos. Seguí a un arqueólogo nigerino llamado Boubé Adamou hasta el lecho seco del lago.

Famoso por su buen ojo para distinguir huesos, siempre parece detectar lo que otros pasan por alto. «Es un hacha», me había dicho Sereno.

Adamou se movía despacio, escudriñando el duro lecho arenoso. El sol caía a plomo sobre nuestras espaldas. De pronto señaló con el dedo, y allí estaba la punta de hueso de un arpón con su inconfundible pico dentado, en el lecho del lago en que miles de años atrás la había lanzado un cazador contra su presa en unas aguas someras.

A media tarde ya había una mesa de *camping* cubierta de hallazgos, entre ellos varias puntas de arpón de hueso, grandes piedras de afilar, puntas de flecha, huesos de hipopótamo, espinas de peces y escamas de cocodrilo. La tumba que Sereno deseaba excavar resultó ser de una mujer enterrada con un gran caparazón de tortuga, como el que en una ocasión anterior se había encontrado en la tumba de un hombre. ¿Tendrían alguna relación? ¿Era ese caparazón una suerte de marcador identitario de las gentes de Gobero? ¿Un objeto necesario para la otra vida? Otra pista, otro misterio.

Pero no quedaba tiempo para extraer el esqueleto envuelto en yeso. El comandante del pelotón anunció que había que estar en el campamento antes del anochecer. El equipo cubrió la tumba y cargó el convoy. Mientras atravesábamos el desierto, no podía dejar de preguntarme qué secretos guardaba todavía Gobero y cuántos de ellos seguirían siendo un misterio para siempre.

E L INVIERNO PASADO Sereno me invitó a visitar su laboratorio de Chicago, que alberga una colección de criaturas antediluvianas digna de un museo. Un cráneo de *Sarcosuchus* –tan grande que yo quepo dentro de sus fauces– guarda la entrada. En lo alto de un armario asoma una maqueta de *Nigersaurus* junto a un esqueleto completo de un *Eoraptor*. Hay terópodos plumados, un dinosaurio acorazado sin nombre científico y un cráneo de *Jobaria* del tamaño de un motor de camión, todos ellos desenterrados y descritos por Sereno y sus colegas.

Gobero también está presente. Interminables hileras de gavetas contienen miles de objetos y huesos de animales. Reconocí un caparazón de tortuga gigante y una gran vasija teneriense. Sereno, de 66 años, planea ir devolviendo poco a poco todo el material, incluidos los esqueletos humanos y los huesos de dinosaurio, a Níger a lo largo de los próximos 15 años. Para ello trabaja con Idé y otros expertos en la construcción de los dos museos que lo albergarán todo. Me mostró los planos del que se construirá en la capital, Niamey, y de otro más pequeño destinado a Agadez, la ciudad más cercana a Gobero.

Pero el trabajo de campo no ha terminado. Sereno espera exhumar al menos un esqueleto más. Al término de la expedición de 2022, su equipo y él volvieron fugazmente a Gobero para desenterrar a la mujer del caparazón de tortuga. Mientras excavaban, Adamou, demostrando que efectivamente no se le pasa una, distinguió un cráneo infantil. Cuando se pusieron a excavar ese enterramiento apareció el pie de otro esqueleto al que apodaron «el hombre ADN».

Según Sereno, nadie ha sido capaz de recuperar ADN humano antiguo en el Sahara central. Pero si se lograra obtener una muestra para cotejarla con el ADN de una población africana actual, sabríamos por fin quiénes son los descendientes de Gobero y hacia dónde se dirigieron sus antepasados al término del período del Sahara verde: el comienzo del siguiente capítulo épico de la historia de África.

Pero como los enterramientos son someros y han sufrido los embates del sol y del calor del desierto durante milenios, el colágeno de los

huesos y la dentina de los dientes, buenas fuentes de muestras de ADN, se han degradado demasiado. «Siempre creí que si encontrase una tumba más profunda que las demás, podríamos obtener una muestra viable», dice Sereno. El hombre ADN, que se encuentra a unos 30 centímetros por debajo de la superficie, podría haber estado suficientemente protegido.

La falta de tiempo impidió una vez más a Sereno extraer el esqueleto. Cubrió la tumba y marcó el lugar con la esperanza de regresar algún día. Por enésima vez. «Gobero me tiene atrapado», dijo entre risas.

Hoy el panorama es más difícil que nunca en Níger. En julio de 2023, un golpe militar derrocó al presidente elegido democráticamente. En marzo de este año, sus cabecillas ordenaron al Ejército estadounidense cerrar la base de drones y abandonar el país. Parece poco probable que Sereno regrese al desierto en un tiempo.

En el laboratorio encuentro lo que he venido a ver: el enterramiento de la mujer con los dos niños. Sereno logró extraerlo intacto, y el paleoartista Tyler Keillor hizo moldes de todos los huesos y creó una réplica exacta. La ha montado en vertical para que el espectador pueda rodearla y examinar la parte inferior de la sepultura. Verla me trae a la mente la imagen de mi mujer en la cama abrazando a nuestros hijos.

En estos años el equipo ha recopilado nuevos detalles. Los tres fueron enterrados en torno a 3400 a.C. La mujer, de entre 25 y 35 años, fue la primera en ser depositada en la tumba, seguida de la criatura de siete y, luego, de la de cinco. Se añadieron cuatro puntas de flecha perfectamente moldeadas, y el polen hallado bajo los huesos revela que fueron sepultados con flores de una planta llamada flor de lana.

No hay pruebas que demuestren que se trataba de una madre y sus hijos, pero así es como mi imaginación rellena las lagunas de la historia. No hay forma de saber quién los enterró, pero yo imagino invariablemente en la escena a un hombre, marido y padre. Y no puedo evitar leer el mensaje de amor y duelo que parece comunicar su entierro. Es la primera vez que siento una conexión emocional con personas prehistóricas. Pero 5.400 años después siento su dolor. □

EN UNA ISLA DESHABITADA,

UN FOTÓGRAFO DESCUBRE

LA BELLEZA DEL AISLAMIENTO.

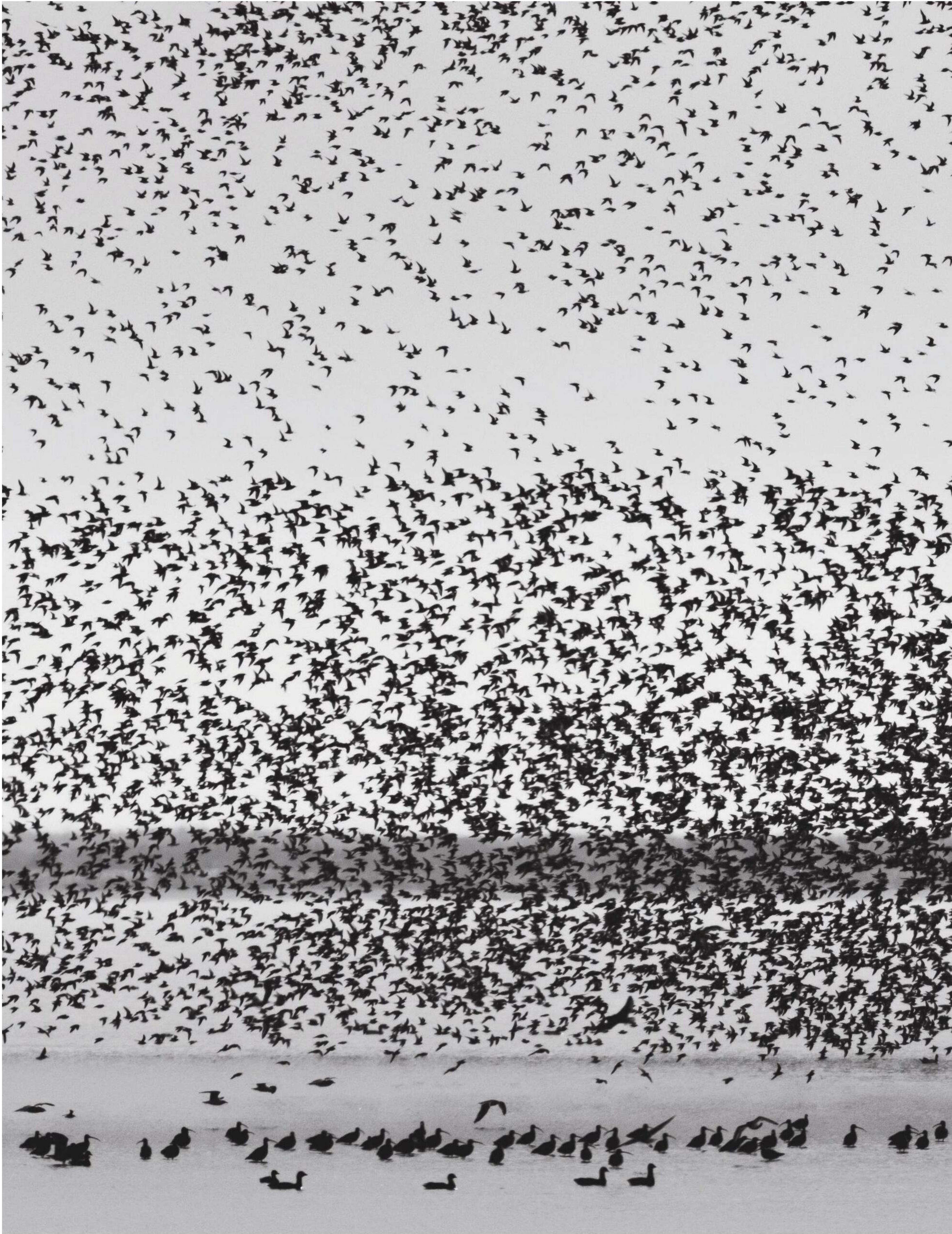




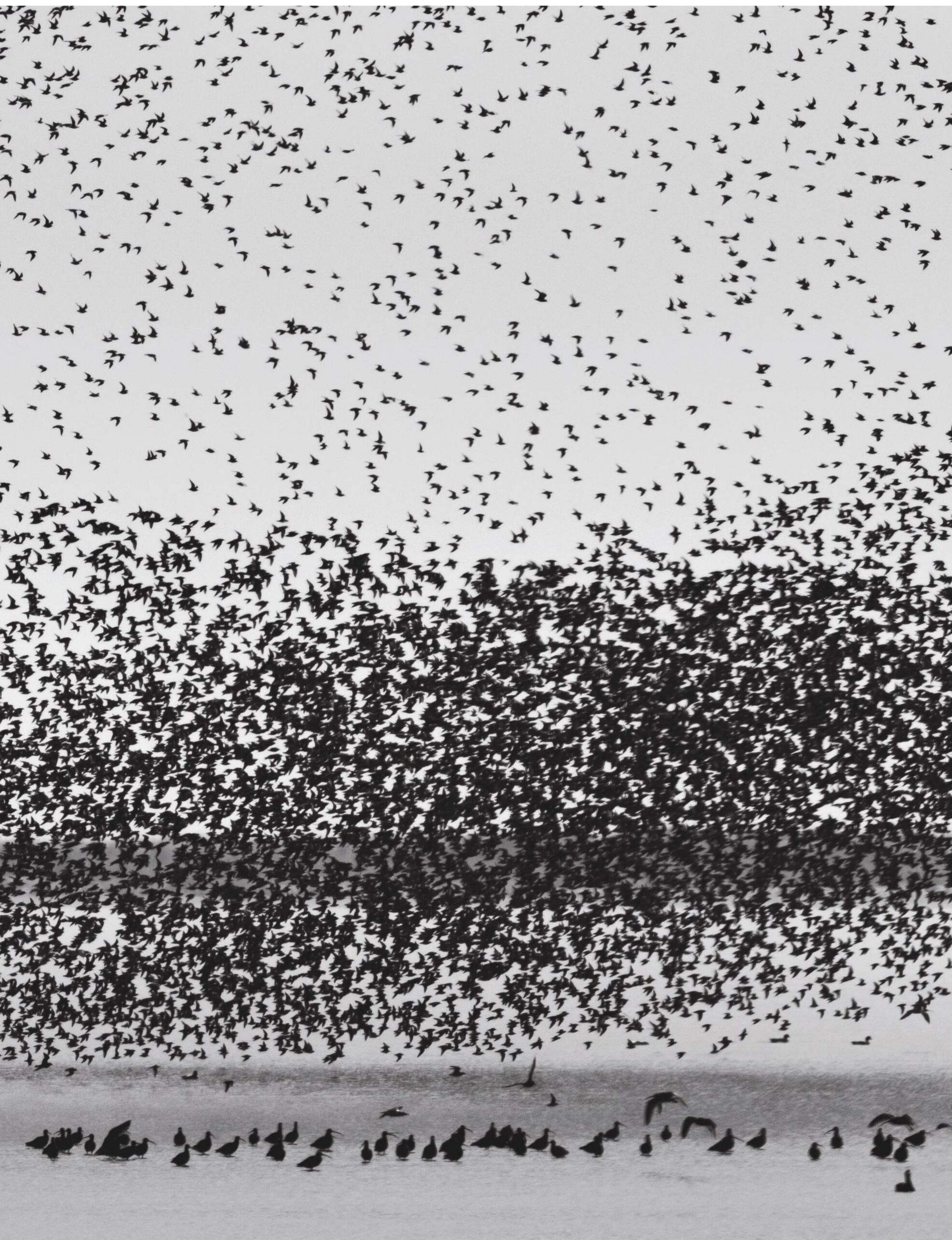
LA ISLA DEL TESORO

TEXTO Y FOTOGRAFÍAS DE
JASPER DOEST

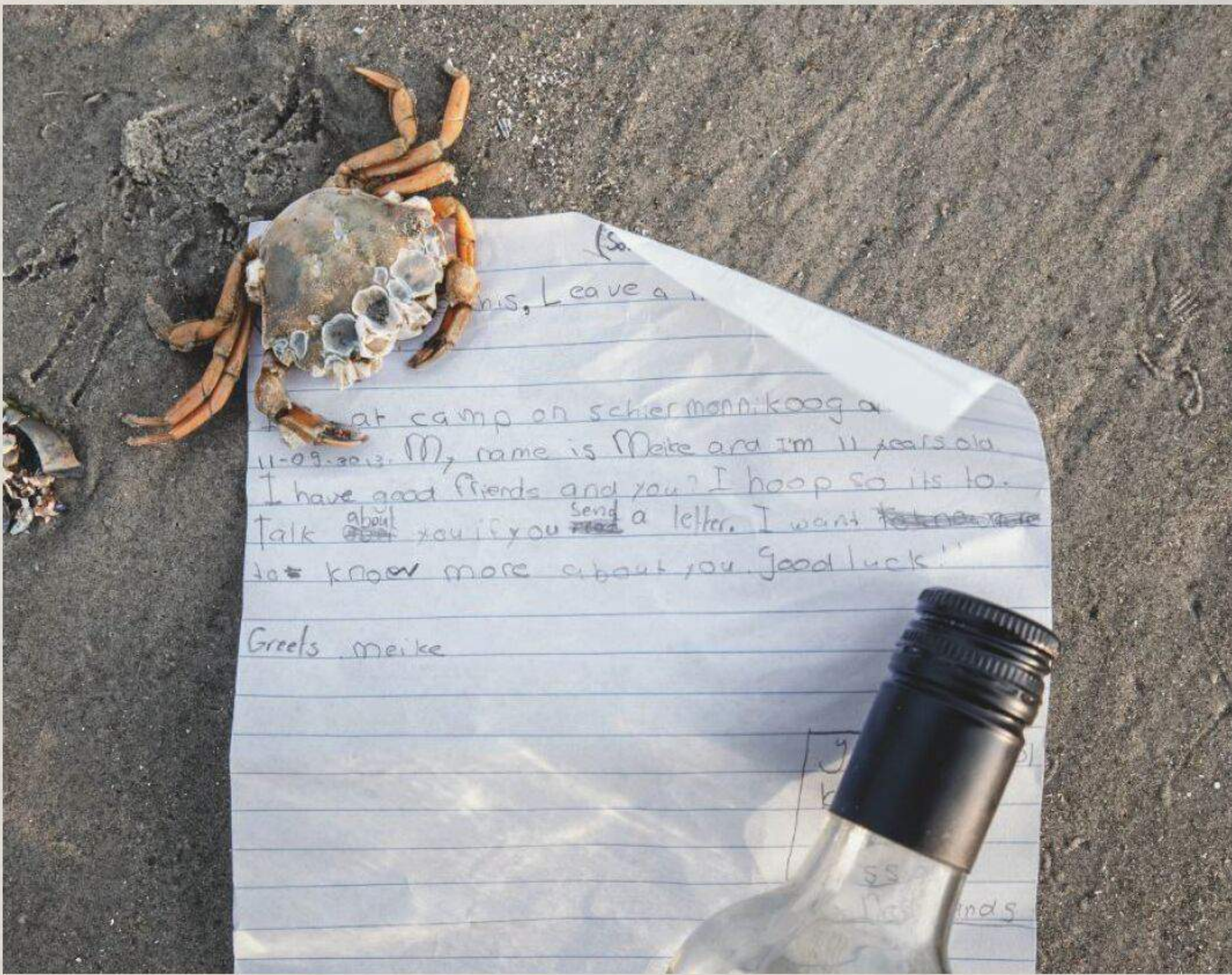




La isla neerlandesa de Rottumeroog está situada en el Waddenzee, o mar de Frisia, un humedal marino y costero que conecta con el mar del Norte. La isla es una escala vital para cientos de miles de aves migratorias.

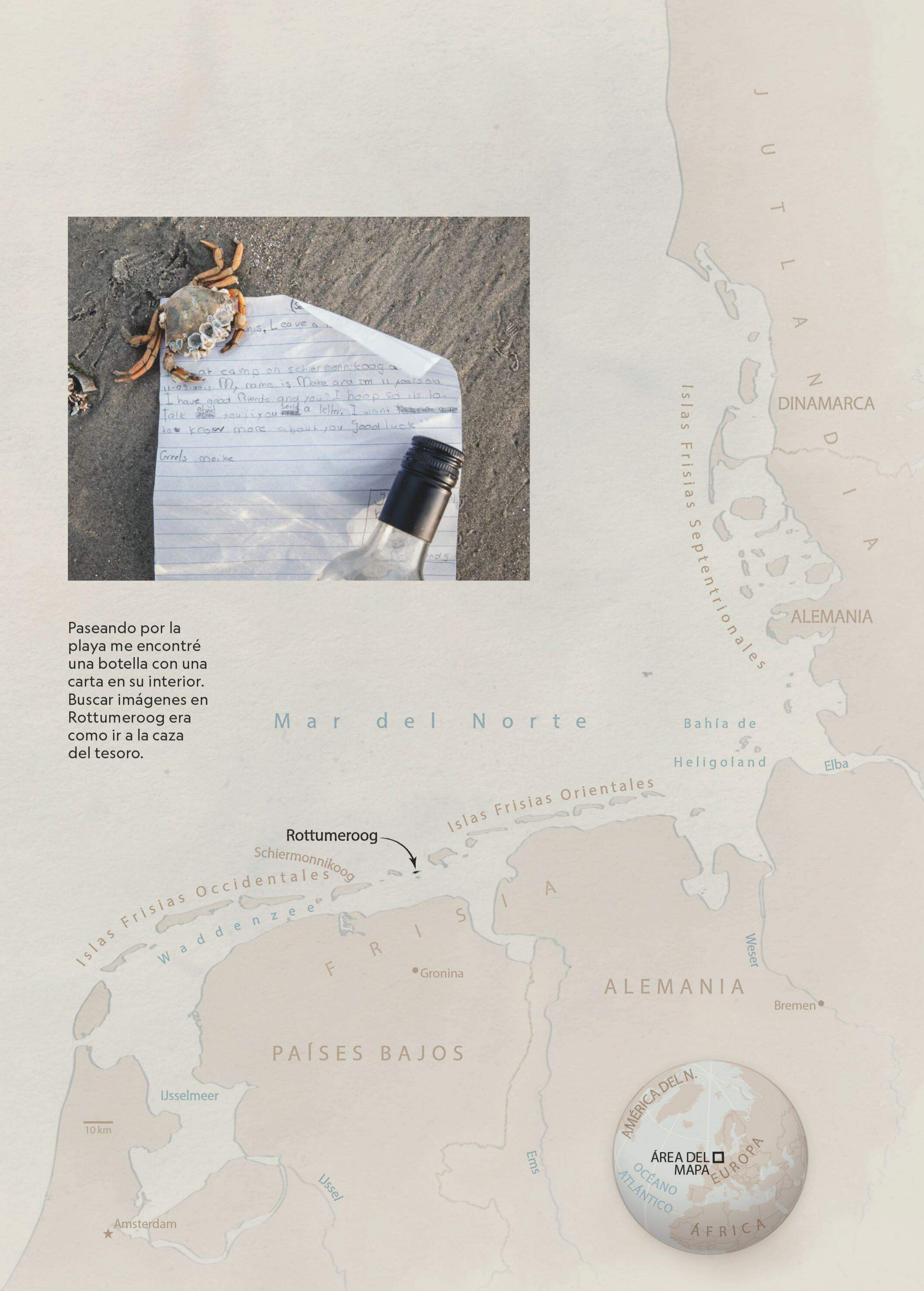


Páginas anteriores: Tomé esta imagen de las formaciones dunares un típico día de otoño holandés de fuertes aguaceros alternados con un sol rasante. Al fijarme bien, me percaté de que no había dos minutos iguales.



Paseando por la
playa me encontré
una botella con una
carta en su interior.
Buscar imágenes en
Rottumeroog era
como ir a la caza
del tesoro.

M a r d e l N o r t e



La isla de Rottumeroog, en los Países Bajos, es un deshabitado paraje marino estrictamente protegido por la legislación medioambiental europea. En 2012 y 2013 la visité múltiples veces para cumplir un encargo. Pasé un total de 50 días con sus noches, una oportunidad increíble, ya que por lo general las visitas estaban prohibidas. La mayor parte del tiempo estuve solo. Mi trabajo consistía en fotografiar el entorno para darlo a conocer. Pero cuando llevaba recorridos unos dos tercios del camino aprendí una lección. Y llegó a mí en forma de mensaje en una botella, devuelta por el mar.

Crecí cerca de la costa holandesa, y el paisaje llano y abierto de Rottumeroog me era familiar. Pero intenté no imponer mi propio relato a la isla, que se compone de arena y se desplaza poco a poco hacia el sudeste, guiada por la corriente. Así que recorrí su perímetro a diario, entrenándome para escuchar y observar los más mínimos cambios de un paisaje tan sencillo que podría dibujarse con unas pocas líneas.



El carrizo desempeña un papel crucial en la protección de la costa. Sus largas raíces cohesionan la arena



y estabilizan las dunas, que hacen las veces de barreras naturales contra las tormentas y las mareas.

Uno de mis puntos favoritos de exploración era un tramo de la orilla que en tiempos había alojado un edificio. Solo quedaban algunos ladrillos semienterrados, entre los que se acumulaban conchas y detritos arrojados por el mar. Un día distinguí entre los escombros una botella diferente a las que había encontrado antes: todavía llevaba enroscado el tapón. La abrí y descubrí en su interior una nota manuscrita. Estaba en inglés y decía: «Me llamo Meike y tengo 11 años. Tengo buenos amigos, ¿y tú?».

Al responder a Meike –ella indicaba en el remitente la dirección de su colegio, en los Países Bajos–, intenté expresar la humildad que se siente cuando uno está aislado en una zona densamente poblada del norte de Europa: en Rottumeroog solo ves tierra, agua y arena, y el viento te silba en los oídos. Meike acabó recibiendo mi carta y hoy, años después, sigo en contacto con su familia. La gente tiende a pensar que estar solo es malo. Pero a mí me pareció liberador en todos los sentidos.

—*En conversación con Catherine Zuckerman*



Izquierda:
Las conchas
crean hipnóticos
motivos forjados
por el viento
y el tiempo.

Abajo: En una de
mis últimas visitas
me di cuenta de
que una imagen
de mí mismo
ayudaría a la
gente a entender
mi experiencia
de soledad. Dirigí
esta instantánea,
en la que estoy
arrastrando el
material por la
playa, mientras
mi ayudante
sostenía la cámara.

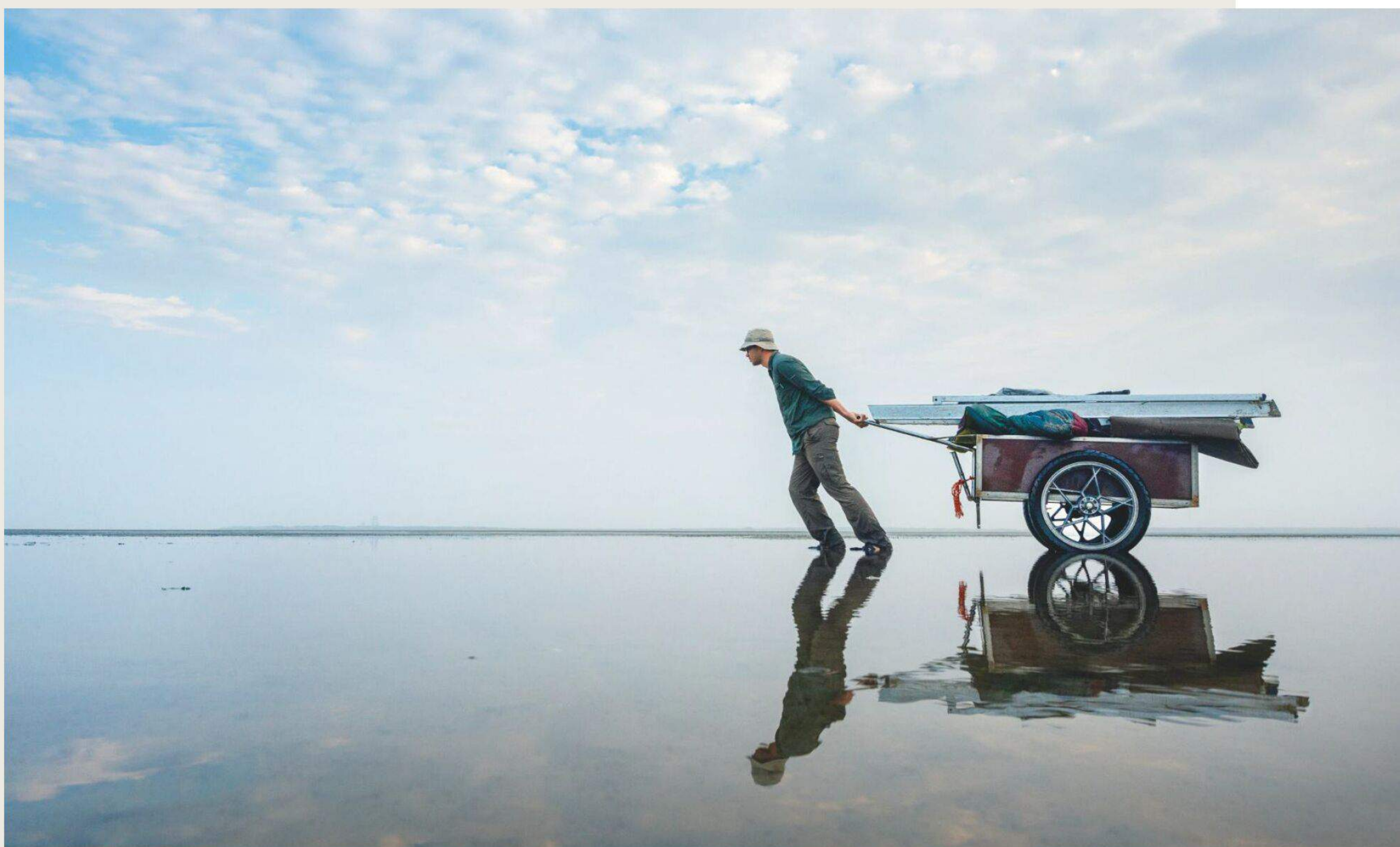


FOTO: ANTHERA DEN HOLLANDER



Si llegas a un lugar con ideas preconcebidas sobre él, cometerás el error de buscar algo que quizá no exista.



En el llano paisaje de Rottumeroog aprendí a dejar que la isla me enseñase lo que tenía que decirme.



El maravilloso mundo de los hongos

ESTÁN EN
TODAS PARTES,
INCLUSO DENTRO
DE NUESTRO
ORGANISMO. ES
HORA DE CONOCER,
Y UTILIZAR,
A NUESTROS
FASCINANTES
VECINOS
FÚNGICOS.



HERICIUM CLATHROIDES

Un hongo, bautizado con el apropiado nombre de barba de cabra, cae como una cascada desde un árbol en la península griega de Chalkidikí.



MACROLEPIOTA PROCERA

Aunque son deliciosos,
los parasoles (los de
esta imagen fueron
fotografiados entre
pinos al atardecer)
son una elección
arriesgada, ya que es
fácil confundirlos con
imitadores venenosos,
como el hongo
de la muerte.





CALOSCYPHA FULGENS
Estos hongos de color anaranjado hallados en el monte Olimpo de Grecia infectan las semillas de las coníferas. *Fulgens* significa «deslumbrante» en latín.

FLORA. FAUNA. FUNGA.

EL ARGUMENTO A FAVOR de considerar que los hongos constituyen un reino propio dentro del mundo natural es simple: sin ellos no existiría gran parte de la vida tal y como la conocemos en nuestro planeta, empezando por la capacidad de las plantas de vivir fuera del agua.

Hace al menos 400 millones de años que los hongos micorrícicos ayudaron a las plantas a colonizar el medio terrestre, gracias a un intercambio bastante básico: los hongos forman relaciones simbióticas con diferentes plantas y animales y van creciendo a medida que se alimentan. Para la mayoría de las plantas actuales, esto significa que sus sistemas radiculares se unen a hongos, los cuales metabolizan los azúcares de la fotosíntesis al tiempo que las ayudan a acceder al agua y a nutrientes esenciales.

Pero esto es solo el principio de lo que estas maravillas en miniatura pueden hacer. Levaduras, mohos, setas... la diversidad de los hongos es muy superior a la de las plantas y los vertebrados. Hay unos cinco millones de especies de hongos, pero en torno al 90 por ciento aún no se ha documentado. Están en el aire, en el agua y hasta en nuestra piel y el interior de nuestro cuerpo. Aun así, apenas se ha empezado a atisbar por qué son tan fundamentales para el equilibrio de los ecosistemas.

«Los hongos nos demuestran que la vida emerge incluso cuando otra termina», dice la micóloga Giuliana Furci, investigadora asociada de la Universidad Harvard y Exploradora de National Geographic. Fundadora de la Fundación Fungi, desde hace 14 años lidera la campaña a favor de la inclusión de los hongos en las políticas de conservación.

Su momento de revelación le llegó cuando estudiaba la carrera en Chile y se topó con una llamativa seta naranja. Al querer saber más, descubrió que no solo no había guías

de campo especializadas en las setas del país, sino que en todo Chile no existía ni un solo programa de estudios de micología. Desde entonces se ha dedicado a documentar los hongos chilenos.

Hoy decenas de micólogos están sumándose a la iniciativa para que la «funga» –el término de nuevo cuño que denota la población de hongos de una región– reciba el mismo nivel de financiación para la investigación y la protección de la biodiversidad que la flora y la fauna. No es de extrañar que cada vez más organizaciones de distintos lugares del mundo, como la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México, el Biobanco Nacional de Tailandia, el Instituto para la Protección y la Investigación Medioambiental de Italia o la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, estén promoviendo la inclusión de los hongos en sus programas de conservación medioambiental. Otro tanto hace National Geographic Society, que acaba de añadir la funga a su definición de «vida salvaje» para animar a que se soliciten becas en este ámbito y abrir más oportunidades a futuros Exploradores.

En las páginas siguientes descubriremos por qué es tan importante este esfuerzo. Desde especies invasoras que pueden anticiparnos cómo nos desenvolveremos en un mundo que se calienta y cambia por momentos hasta el complejo «micobioma» presente en nuestro organismo, que ofrece vías de investigación sobre la extensión de enfermedades mortales como el cáncer (y algunas pistas sobre potenciales tratamientos), pasando por el aprovechamiento del micelio como tejido ecológico para la industria de la moda, el planeta es una placa de Petri mayor de lo que habríamos imaginado. El futuro es la funga. Y ha llegado el momento de comprender lo que nos depara. –NICK MARTIN



LACCARIA
AMETHYSTINA

Esta belleza
venenosa de
sombrero violeta
puede acumular
niveles elevados
de arsénico.

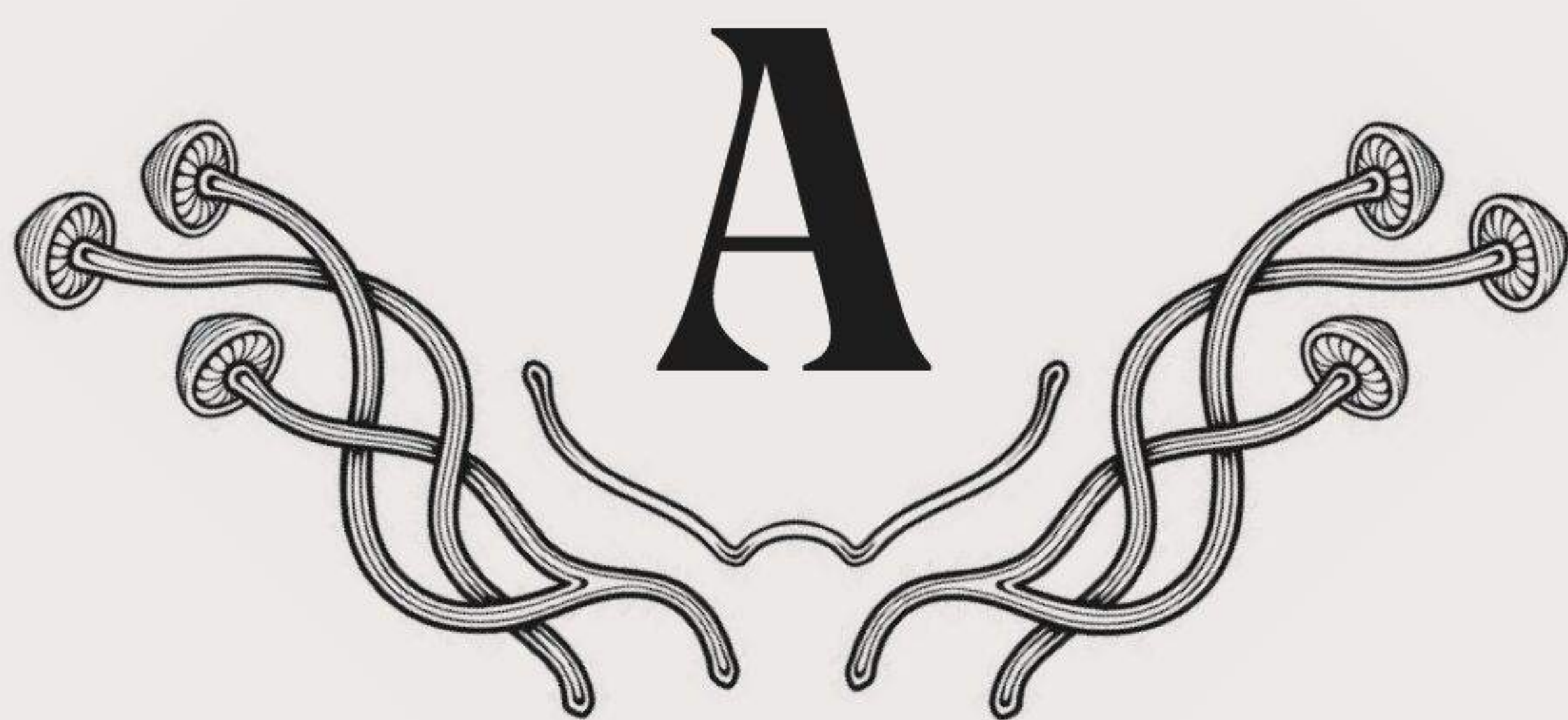
Capítulo
uno

El extraño autoestopista de la naturaleza

ESTÁN APARECIENDO
HONGOS EN NUEVOS
ENTORNOS... CON
CONSECUENCIAS
INESPERADAS.

Texto de
SARAH GIBBENS

Fotografías de
AGORASTOS PAPATSANIS



ANNE PRINGLE EXAMINABA setas en un campo del Parque Estatal de la Bahía de Tomales, al norte de San Francisco, cuando se encontró en un aprieto. Estaba rodeada por un mar de una de las setas más peligrosas del mundo: *Amanita phalloides*, comúnmente conocida como oronja mortal u hongo de la muerte. «No podía poner el pie en el suelo sin pisar alguna –recuerda–. Era un valle de la muerte. Una infestación total».

Aquello ocurrió hace 20 años, cuando esta micóloga de la Universidad de Wisconsin-Madison realizaba una investigación para la Universidad de California en Berkeley. Pese a su proliferación, corría el rumor de que aquella seta mortal no era oriunda de la costa californiana. Seis años y muchas secuenciaciones de ADN después, Pringle demostró que, en efecto, la mortífera seta era una invasora, una especie fúngica probablemente originaria de Europa.

El hongo de la muerte es culpable de la mayoría de las intoxicaciones asociadas a la ingesta de setas. Sus potentes toxinas empiezan a atacar el cuerpo humano apenas seis horas después de su consumo, causando un cuadro de dolor abdominal, náuseas y vómitos que, si no se trata, puede conducir a una insuficiencia hepática mortal. En agosto de 2023 fallecieron en Australia tres personas por ingerir hongos de la muerte. Con unos 12 centímetros de altura y un sombrero blanco ligeramente amarillo verdoso, puede confundirse fácilmente con otras setas comestibles.

Pero el hongo de la muerte no evolucionó para matar a seres humanos. Esta seta es un hongo micorrízico. Nace de una maraña de filamentos, o hifas, que crecen en el suelo y se enroscan alrededor de las raíces de los árboles, ayudándolos a absorber nutrientes. Esta actividad soterrada



**OUDEMANSIELLA
MUCIDA**

Las setas de porcelana, como estas que crecen sobre un haya del monte Olimpo, alcanzan entre 2,5 y 8 centímetros de altura.

intriga y preocupa a partes iguales a científicos como Pringle, convencidos de que no sabemos lo suficiente sobre el reino fúngico y sobre lo que sucede cuando esas redes subterráneas sufren alteraciones.

En el último siglo nuestro mundo se ha ido interconectando más que nunca y los hongos se han embarcado en viajes globales, haciendo autostop en plantas importadas o simplemente volando cientos de kilómetros con el viento. Ahora el cambio climático facilita que muchos de esos organismos prosperen en ecosistemas que antes eran demasiado fríos y secos. Si nos fijamos de lo ocurrido en el pasado, puede que no estemos preparados para lo que está por venir.



LOS HONGOS son una dimensión terrestre oculta que aún estamos aprendiendo a ver. Viven en el suelo y producen tallos comestibles como las plantas, pero muchas de sus características son bien distintas. Mientras que las paredes celulares vegetales son de celulosa, las de los hongos son de quitina, una fibra también presente en el exoesqueleto de insectos y crustáceos. Y son heterótrofos, es decir, se alimentan de otros organismos, o de madera y materia vegetal muerta, segregando enzimas y absorbiendo los nutrientes. Sin los hongos, las plantas y los animales muertos se

acumularían en los suelos forestales y la mayoría de los árboles tendrían dificultades para encontrar los nutrientes que necesitan. «Es probable que estén más cerca de los animales de lo que se cree», dice Rabern Simmons, conservador de hongos del Herbario de la Universidad Purdue.

Durante millones de años han evolucionado para habitar entornos específicos, a veces asociados a una única especie. Pero cuando un hongo se desplaza miles de kilómetros, esas complejas relaciones pueden descontrolarse. «En el caso de los hongos patógenos puede generarse la tormenta perfecta», dice Stephen Parnell, epidemiólogo de la Universidad de Warwick que modeliza la propagación de plagas vegetales.

Existen diversas estrategias de reproducción que ayudan a los hongos a sobrevivir. La reproducción puede ser sexual o asexual. En ambos casos se producen esporas, el mecanismo más habitual de dispersión. De las esporas surgirán las hifas, que van creciendo y también se pueden reproducir asexualmente por fragmentación.

Ante unos climas y paisajes cambiantes, dice Parnell, estas características reproductivas los dotan de una capacidad de adaptación única. En nuevos entornos, los hongos foráneos pueden propagarse con voracidad y rehacer la topografía circundante. Los castaños americanos fueron los gigantes de los Apalaches, hasta que a principios del siglo xx llegó el hongo *Cryphonectria parasitica*. En Japón y China este patógeno era una molestia menor para los castaños asiáticos, pero al castaño americano le causó lesiones que lo privaban del agua y los nutrientes. Se calcula que a lo largo de los 100 años siguientes murieron 4.000 millones de árboles.

Mientras los últimos castaños americanos se secaban, las ranas y otros anfibios se enfrentaban al hongo quítrido, un patógeno que se cree originario de la península de Corea y que en los últimos 150 años se ha extendido por todo el planeta. Hoy la quitridiomycosis se asocia al declive de al menos 500 especies de anfibios; ha causado la desaparición de 90 especies de sus hábitats y se ha descrito como la peor enfermedad sufrida por la fauna salvaje en toda la historia.

«Estamos trasladando material biológico a la otra punta del mundo en pocas horas, conectando continentes que llevaban mucho tiempo separados –afirma Ben Scheele, ecólogo de la Universidad Nacional Australiana–. En el fondo, hemos recreado una Pangea disfuncional».

E EL PASADO OTOÑO, Pringle y uno de sus alumnos pasaron semanas recogiendo cientos de hongos de la muerte en bosques del Reino Unido, Hungría, Francia y Polonia. Estas muestras podrían ayudar a comprender mejor por qué estas setas prosperan en algunos ecosistemas y no en otros.

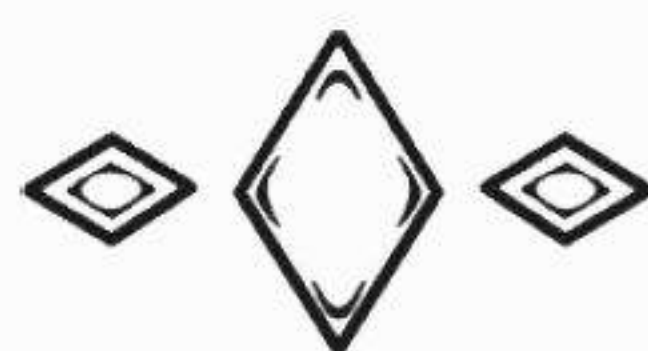
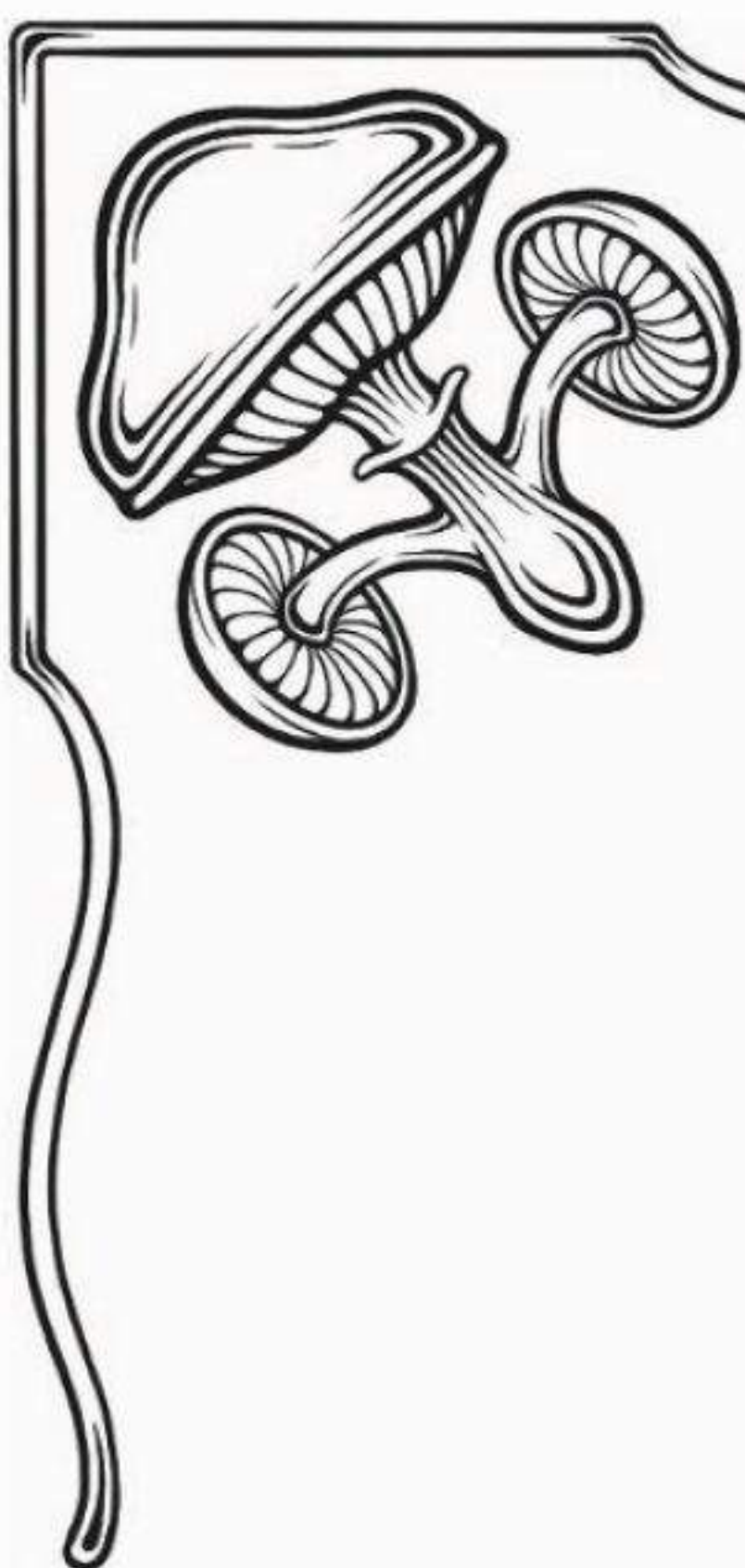
Los científicos están buscando un depredador o un patógeno que puedan replicar para impedir que las setas invadan los suelos de los bosques, un método denominado control biológico. Pero Pringle explica que una de las formas más eficaces de circunscribir un hongo al entorno adecuado pasa por la prevención: monitorizar las importaciones de especies foráneas y analizarlas por si contuviesen hongos.

Cuando resulta imposible prevenir las micosis en un ambiente determinado, tratarlas puede convertirse en un trabajo ímprobo. Varios científicos llevan décadas trabajando en proyectos para restaurar el castaño americano, uno de los cuales incluye un polémico árbol modificado genéticamente. Y aunque es posible curar a una rana concreta de la quitridiomycosis, erradicar el hongo de los entornos en los que se ha introducido es prácticamente imposible. El año pasado, un nuevo estudio sobre la manera en que el hongo de la muerte produce su potente toxina abrió la puerta a un posible antídoto.

Algunas empresas tecnológicas emergentes y organizaciones sin ánimo de lucro buscan soluciones prometedoras para ayudar a los hongos a ayudarnos a nosotros. Funga, una empresa con sede en Austin, Texas, identifica hongos autóctonos capaces de ayudar a los árboles a almacenar más dióxido de carbono. SPUN, una organización de investigación científica, está cartografiando los hongos de todo el planeta para identificar puntos calientes regionales que necesitan medidas de conservación. Existen al menos 350 especies que ya corren peligro de extinción, aunque es probable que la cifra real sea mucho mayor.

Para Rabern Simmons, del herbario de Purdue, ganar la carrera contrarreloj de la biodiversidad es fundamental, tanto para la humanidad como para los hongos. «Estamos descubriendo realidades que son beneficiosas para la humanidad de alguna manera, ya sea con la producción de compuestos como biocombustibles o con la generación de sustancias a las que se atribuyen propiedades medicinales».

Aquello que protejamos, añade, quizás algún día resuelva el siguiente problema que creemos.



La detective olvidada de los hongos

CÓMO UNA PIONERA DE
LA MICOLOGÍA MODERNA
MODELÓ LA RESPUESTA
QUE ESTADOS UNIDOS DA
A LAS ENFERMEDADES
VEGETALES QUE PUEDEN
SER DEVASTADORAS

EL FESTIVAL NACIONAL de los Cerezos en Flor de Washington D. C. ha sido motivo de orgullo y fuente de ingresos procedentes del turismo desde hace casi un siglo. Pero cuando los 2.000 cerezos que Japón regaló a Estados Unidos como gesto de amistad llegaron al país en 1909, el panorama no pintaba tan bien. Aquellos árboles estaban plagados de insectos, y varios tenían en la corteza zonas secas en forma de anillo, típico síntoma de una micosis contagiosa.

Tras inspeccionar la remesa, Flora Patterson, micóloga del Departamento de Agricultura (USDA), remitió una carta a sus superiores. Identificaba el hongo como un tipo de *Pestalozzia*, pero les advertía de que era «imposible determinar con tan poco tiempo» si la especie ya era autóctona de Estados Unidos. En lenguaje académico, su equipo y ella estaban dando la voz de alarma. Tras muchas cartas diplomáticas a Tokio, el presidente William Howard Taft aprobó la destrucción de los árboles el 28 de enero de 1910, y el cargamento fue incinerado en el National Mall.

Fue una medida radical. Pero a principios del siglo XX los hongos polizones ya habían provocado un brote de chancro del castaño, una plaga que aniquilaría un gran número de bosques estadounidenses. Poco antes de la llegada de aquellos cerezos, Flora Patterson y varios de sus colaboradores habían recibido el encargo de investigar otras amenazas

importadas y no tardaron en identificar el hongo que produce la verruga negra de la patata, que podría haber perjudicado gravemente la cadena alimentaria.

La labor detectivesca de Patterson contribuyó a que el Congreso aprobase la Ley de Cuarentena Vegetal de 1912, que obligaba a todos los puertos estadounidenses a inspeccionar y retener cualquier planta sospechosa. Aquella ley le dio acceso a nuevas muestras. A lo largo de su carrera, Patterson reforzaría las Colecciones Nacionales Micológicas con más de 90.000 nuevos especímenes. Y Japón acabó enviando una nueva remesa de cerezos.

«Gracias a personas como Flora podemos retroceder en el tiempo y ver qué hongos patógenos predominaban entonces», dice Lisa Castlebury, actual directora de las colecciones del USDA.

Aquel fondo es hoy la mayor base de datos de hongos consultable del mundo, con cerca de un millón de muestras. Y gran parte del trabajo de Patterson sigue formando parte de ella. Los especímenes individuales y sus huéspedes vegetales, cuidadosamente desecados, se guardan en sobres de papel rígido junto a detalladas notas escritas a mano por ella misma y otros científicos. «Es una intersección entre la historia natural y la

historia del espécimen», apunta Castlebury. Los científicos pueden cotejar las muestras de las colecciones con manchas, excreciones o coloraciones sospechosas para acelerar su identificación.

Cuando hace un siglo Patterson ocupaba el puesto de Castlebury, sus tareas eran variadas: muchos aficionados a las setas se presentaban en las oficinas del USDA para que les ayudasen a identificar especímenes encontrados en sus salidas al campo. Durante la Primera Guerra Mundial, Patterson impulsó ese trabajo cofirmando una guía del departamento para enseñar a la ciudadanía qué setas comunes eran comestibles. Su equipo y ella también identificaron enfermedades vegetales nuevas y realizaron experimentos para tratar los patógenos emergentes mediante fumigaciones.

Descrita en un artículo de 1914 como el «escudo entre el agricultor estadounidense y los gérmenes europeos que atacan las cosechas», Patterson destaca entre muchas otras mujeres de su época porque su trabajo quedó bien documentado. Con todo, su huella más duradera permanece en gran medida oculta. Si ahora los hongos polizones se detectan de forma rutinaria y se ponen en cuarentena o se destruyen en puertos y aeropuertos, es en gran parte gracias a los protocolos que ella ayudó a implantar. Y ya no se necesitan incineraciones públicas.

—DINA FINE MARON

A hand is visible at the top right, holding a piece of paper. The paper features a vibrant, abstract, and textured pattern. The pattern consists of numerous small, colorful dots and streaks in shades of green, yellow, orange, and red, creating a dense, organic-looking texture. The background of the paper is dark, making the colorful elements stand out. The lighting is soft, highlighting the texture of the paper and the colors of the pattern.

PLUTEUS CERVINUS

Las esporas de un plúteo
cervino del monte
Olimpo se desprenden
y danzan en el aire
bajo sus láminas, dando
paso a la siguiente
generación y al ciclo
de crecimiento.

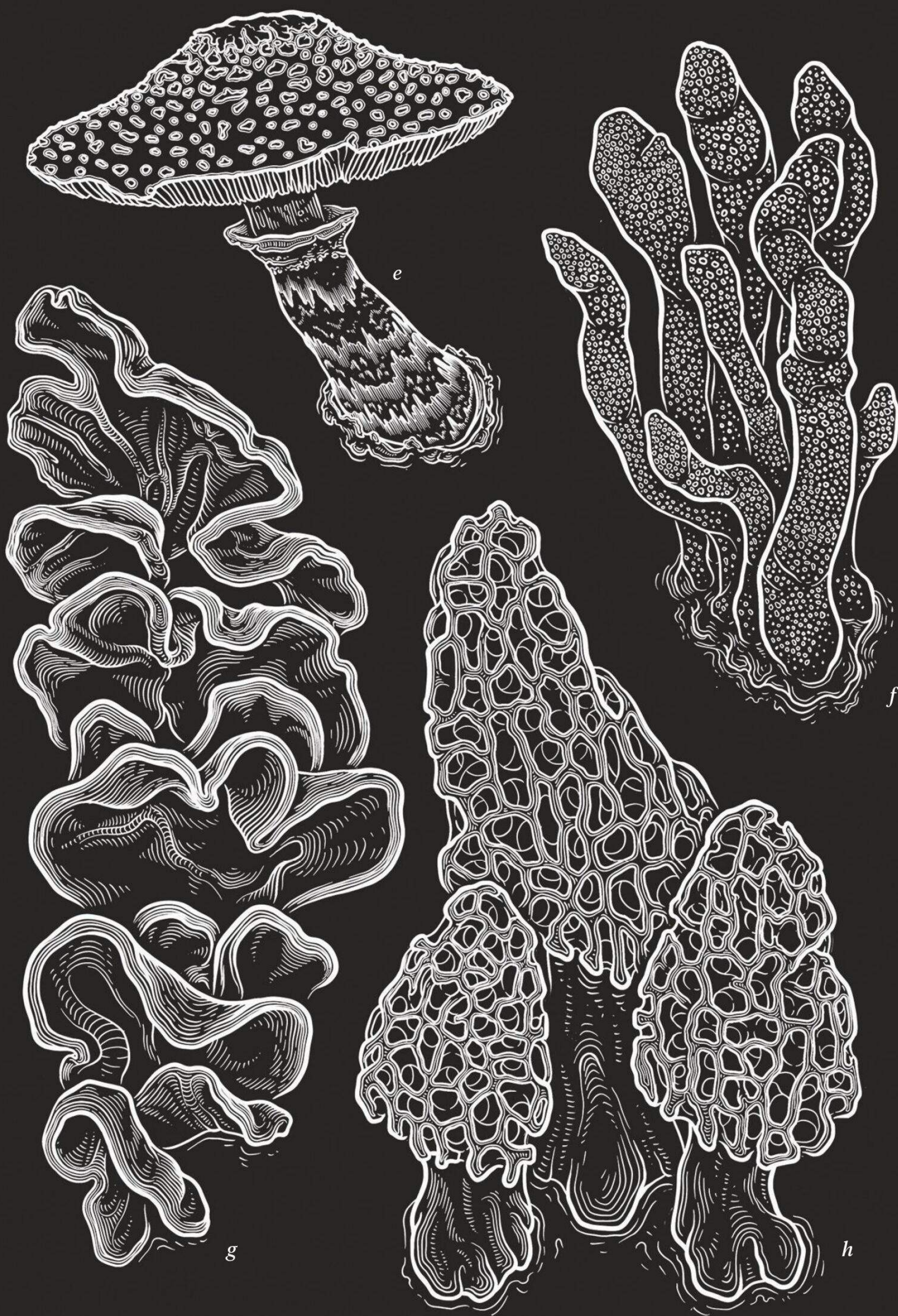




Capítulo dos

El reino oculto

a. Xylaria polymorpha; b. Termitomyces reticulatus; c. Armillaria mellea;
d. Cantharellus cibarius; e. Leucoagaricus americanus;
f. Cordyceps militaris; g. Auricularia auricula; h. Morchella esculenta



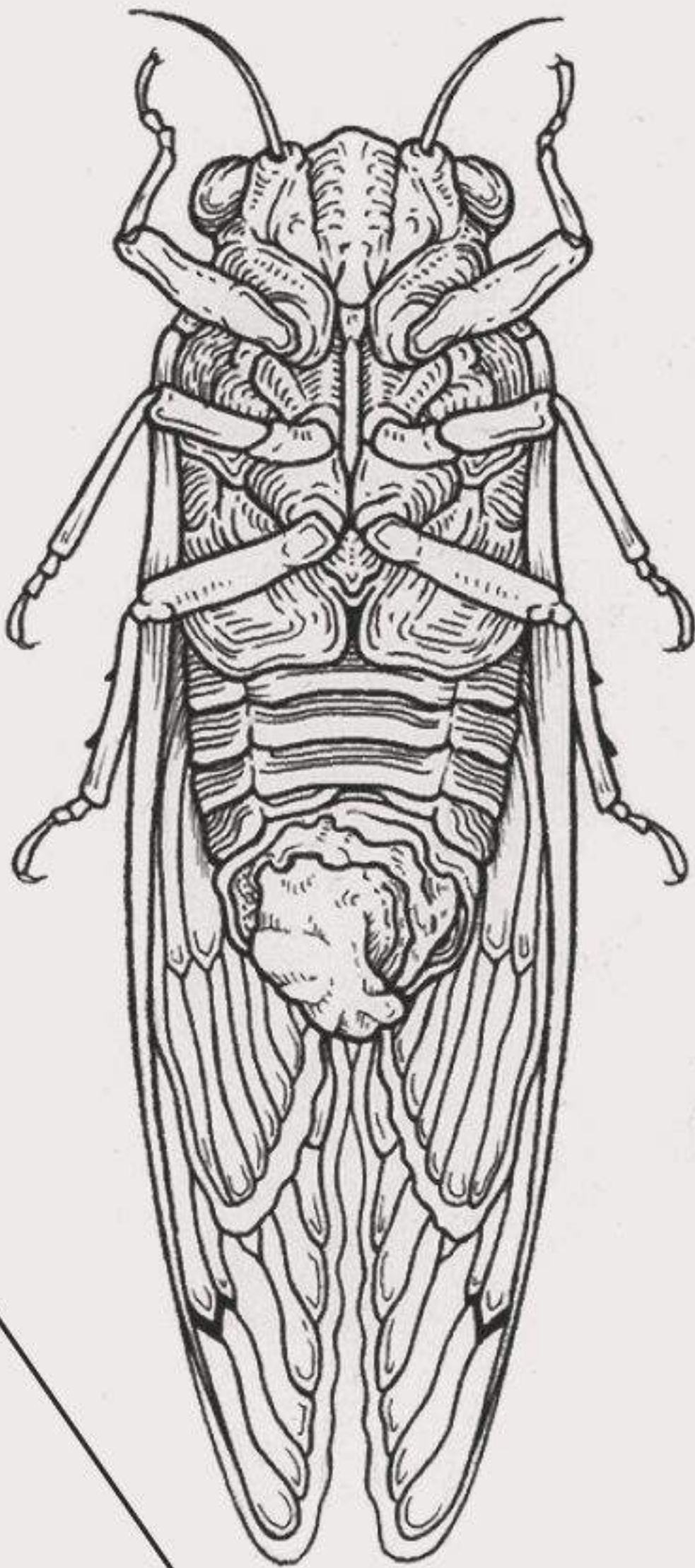
Mucho más que las típicas setas, los hongos son organismos más emparentados con el ser humano que con las plantas. Pese a estar reconocidos como un reino propio en el árbol de la vida, la ciencia solo conoce una pequeña parte de ellos.

Gráfico de JASON TREAT
Ilustraciones de KATY WIEDEMANN

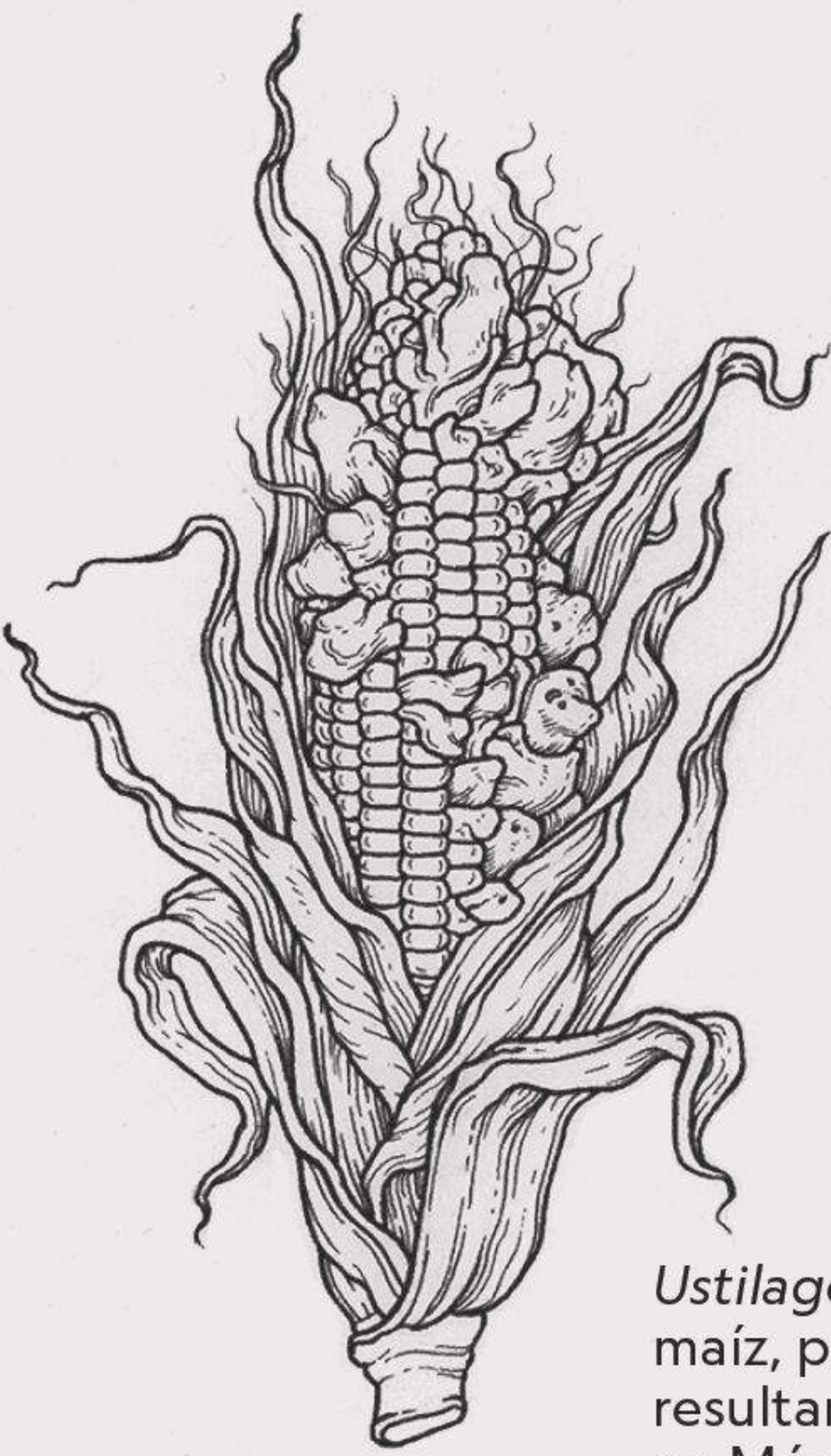
Un elemento común

El reino de los hongos abarca morfologías aparentemente infinitas, pero casi todos sus miembros comparten un rasgo: sus paredes celulares están hechas de quitina. Esta sustancia sólida pero flexible también conforma el exoesqueleto de artrópodos como los insectos y los crustáceos.

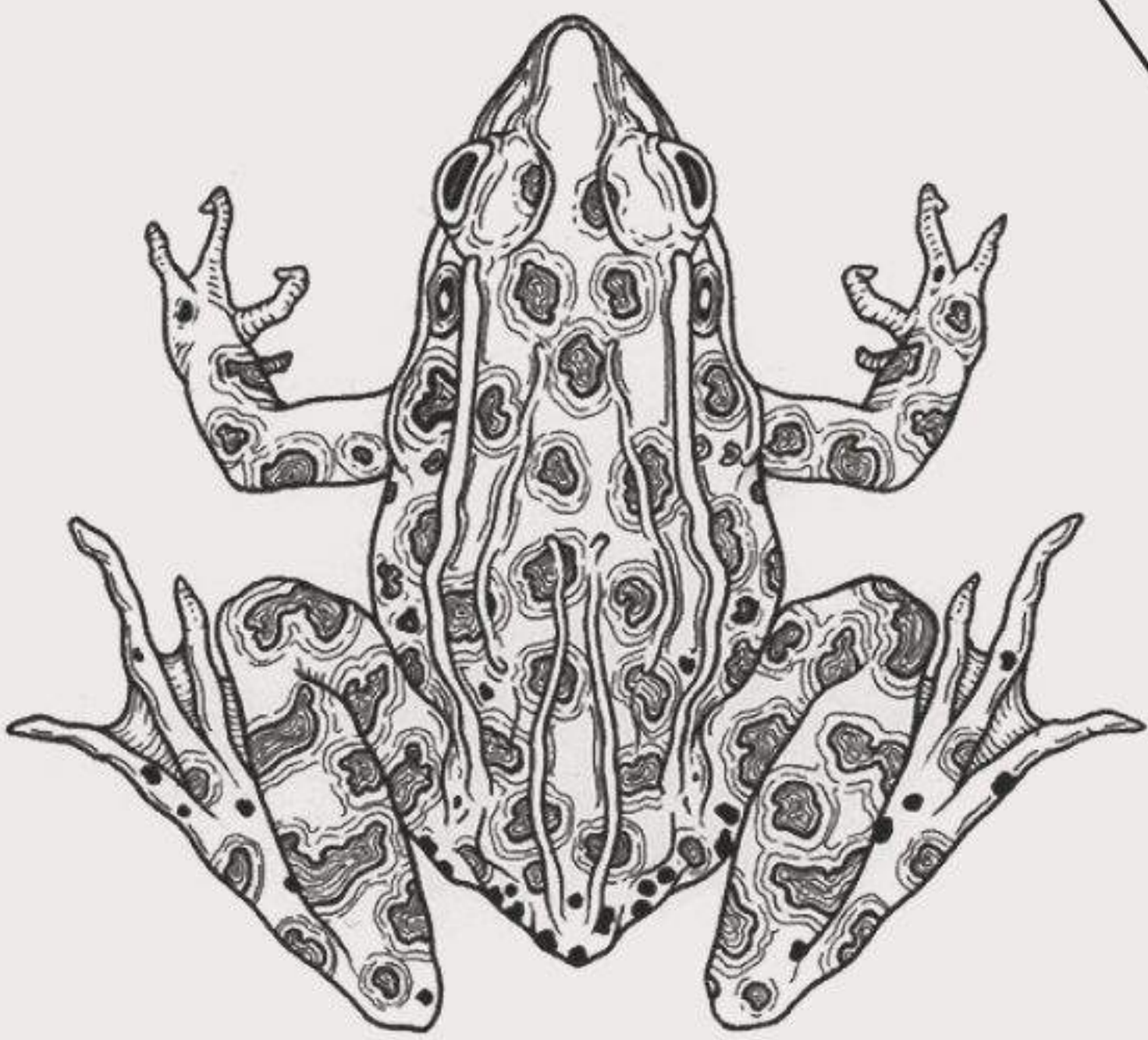
Massospora cicadina secuestra los cuerpos de las cigarras y las impulsa a copular, aumentando la propagación de este hongo patógeno.



Ustilago maydis destruye el maíz, pero las excrecencias resultantes saben a trufa y en México se consideran un manjar llamado huitlacoche.



Rhizophagus irregularis quizás haya ayudado a las plantas a colonizar el medio terrestre, al descomponer la materia orgánica del suelo y compartir nutrientes con ellas.



Batrachochytrium dendrobatidis es un hongo acuático que ataca la piel de ranas y sapos y es responsable del declive de más de 500 especies de anfibios.

Aphelidium, una de las primeras ramas divergentes de los hongos, es parásito y mata a las algas.

Órdenes de hongos

Afelidiales
Rotosferídeos
Criotomicetos y microsporidios
Blastocladiomicetos
Monoblefaridomicetos

Proximidad genética
Los órdenes y demás taxones que se ramifican más cerca de lo alto de la curva son más similares genéticamente.

QUITRIDIOMICETOS
Las esporas de estos antiguos hongos acuáticos conservan un flagelo que las hace móviles.

Olpidiales

ZOOPAGOMICETOS
A veces parásitos, a veces simbioses, estos hongos han perdido sus esporas flageladas.

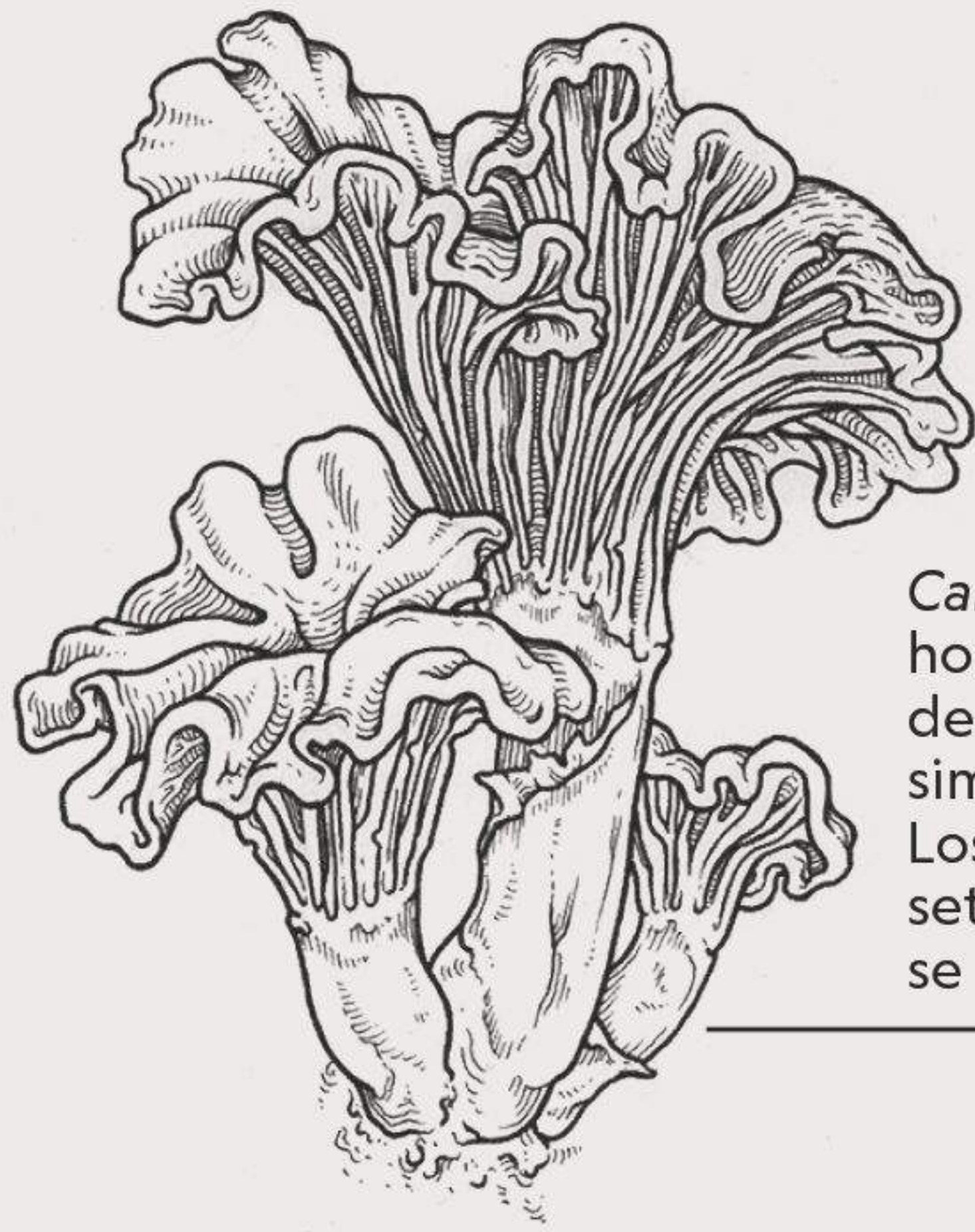
MUCOROMICETOS
Los hongos de este filo incluyen organismos que evolucionaron con las plantas, formando redes con sus raíces.

Entorizomicetos

LOS PRIMEROS HONGOS
La mayoría de los hongos de divergencia temprana son acuáticos. Se alimentan mediante filamentos llamados hifas, cuya naturaleza unicelular los hace vulnerables a las lesiones o a la muerte.

En general, los órdenes que aparecen a la derecha de la curva divergieron del ancestro fúngico común más tarde.

Momento de divergencia
Temprano
Tardío



Cantharellus es un género de hongos que solo crecen al lado de los árboles, conectando simbióticamente con sus raíces. Los cantarellus son unas de las setas comestibles que más se recolectan.

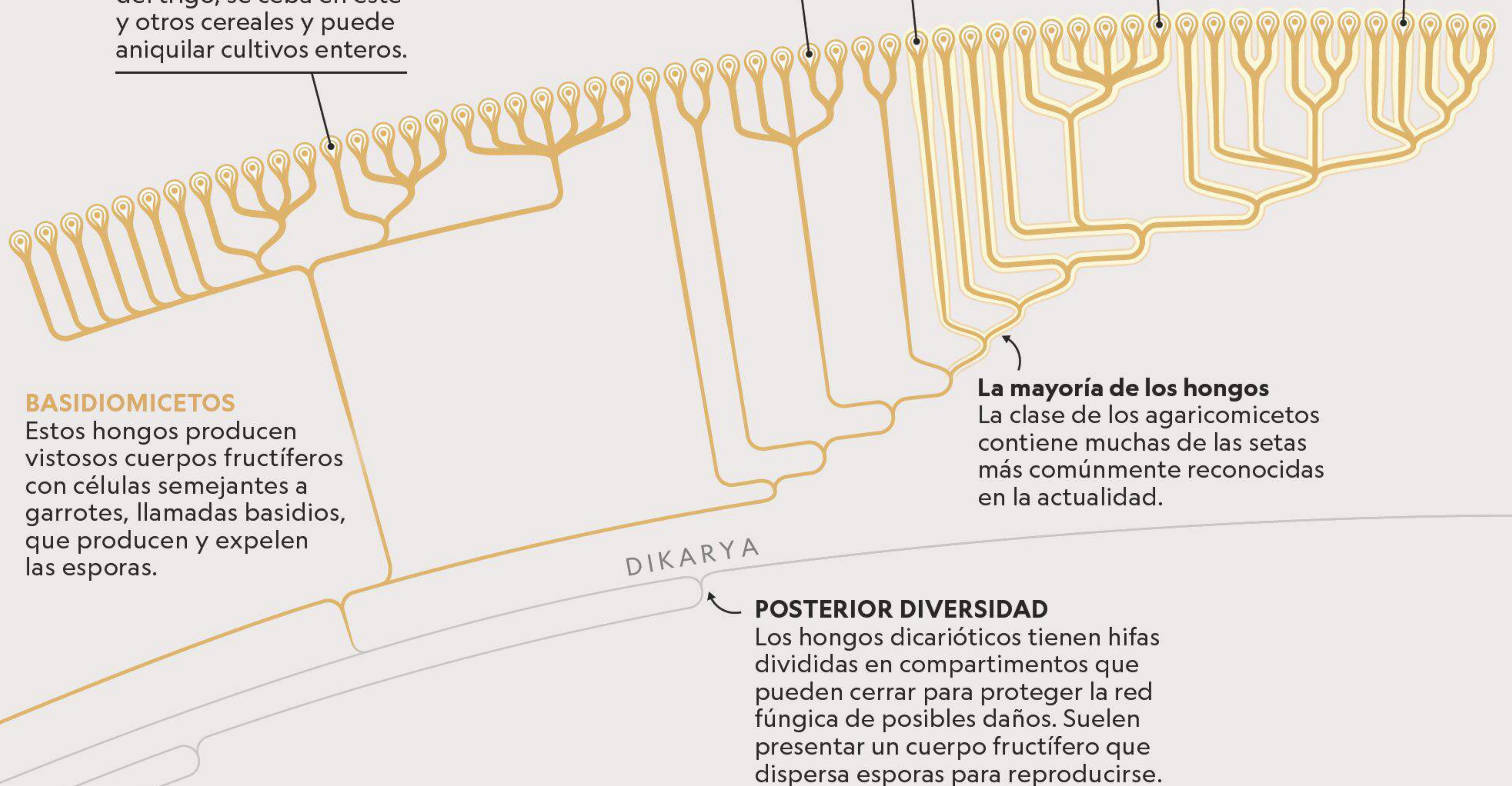


Amanita phalloides, una de las setas más mortíferas que se conocen, suele ser fatal si se ingiere. Muchos de sus nombres comunes aluden a su letalidad, como hongo de la muerte y oronja mortal.

Puccinia graminis, también conocida como roya negra del trigo, se ceba en este y otros cereales y puede aniquilar cultivos enteros.

Cryptococcus neoformans es un hongo patógeno que puede resultar letal para las personas inmunodeprimidas, en especial las seropositivas portadoras de VIH.

Phallus impudicus, el falo hediondo, es famoso por su forma fálica y su mal olor, que atrae a las moscas para que dispersen sus esporas.



BASIDIOMICETOS

Estos hongos producen vistosos cuerpos fructíferos con células semejantes a garrotes, llamadas basidios, que producen y expelen las esporas.

La mayoría de los hongos

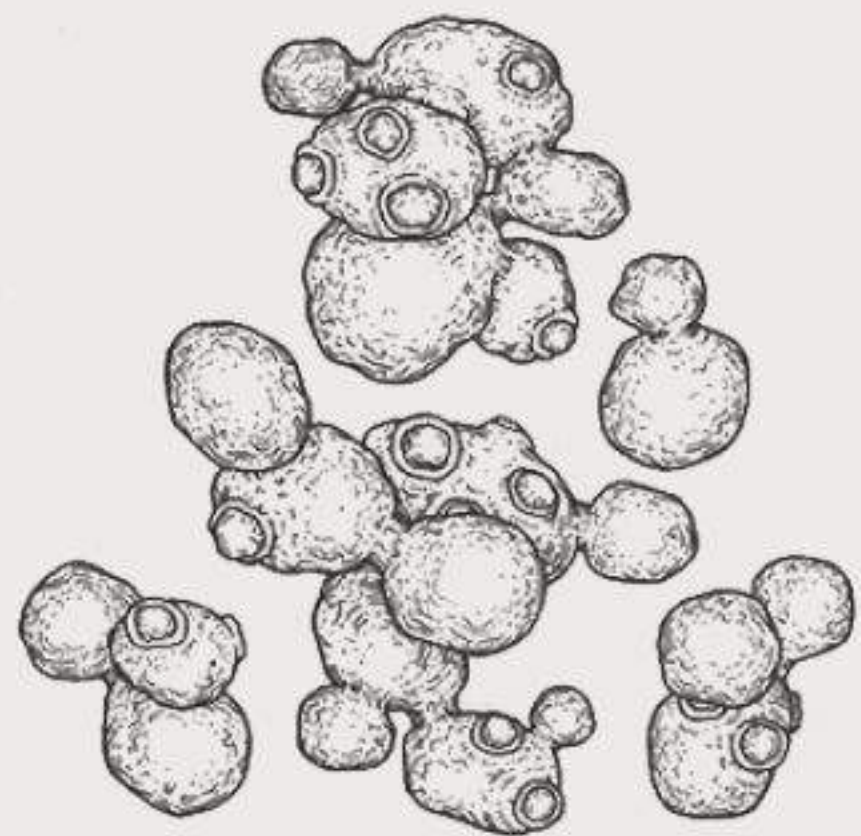
La clase de los agaricomycetos contiene muchas de las setas más comúnmente reconocidas en la actualidad.

POSTERIOR DIVERSIDAD

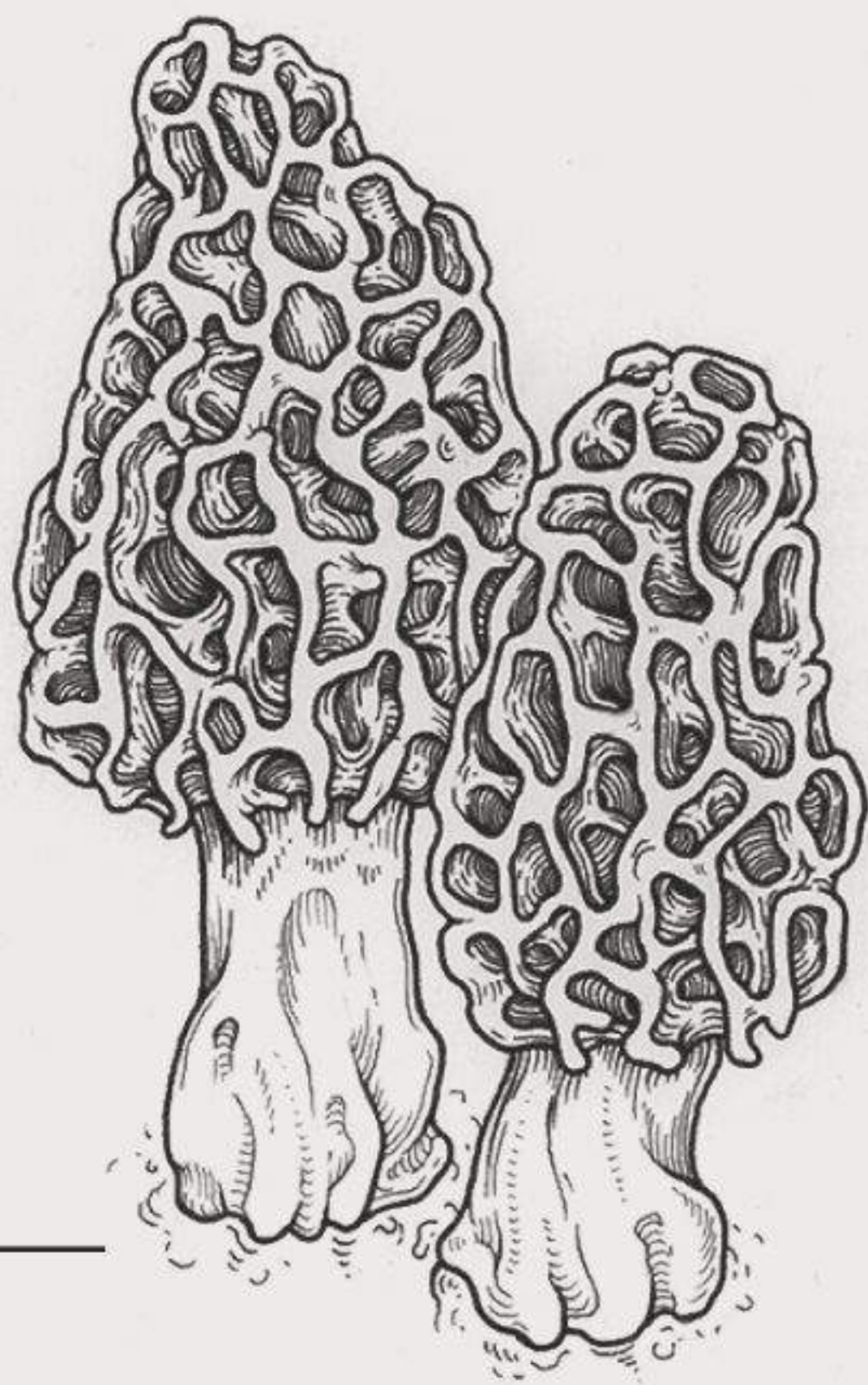
Los hongos dicarióticos tienen hifas divididas en compartimentos que pueden cerrar para proteger la red fúngica de posibles daños. Suelen presentar un cuerpo fructífero que dispersa esporas para reproducirse.

El árbol filogenético de los hongos

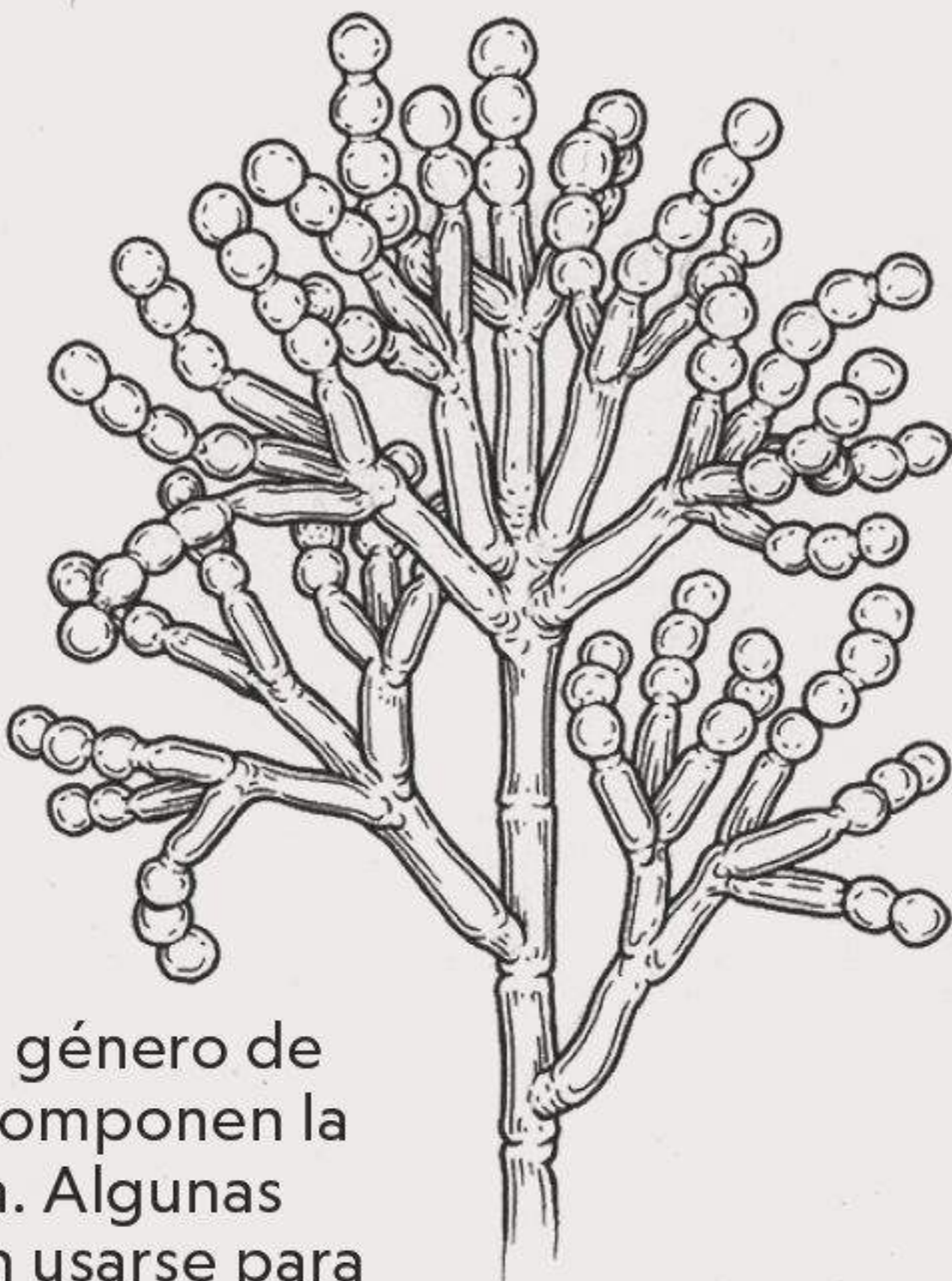
Unas veces beneficiosos, otras letales, los hongos llevan más de mil millones de años dando forma a la vida en la Tierra. Están presentes en los alimentos que consumimos y en el aire que respiramos, y más del 90 por ciento de las plantas los necesitan para obtener agua y nutrientes. Nuestro conocimiento de estos organismos es ínfimo: de los como mínimo cinco millones de especies, solamente unas 150.000 se han identificado y clasificado en un árbol filogenético.



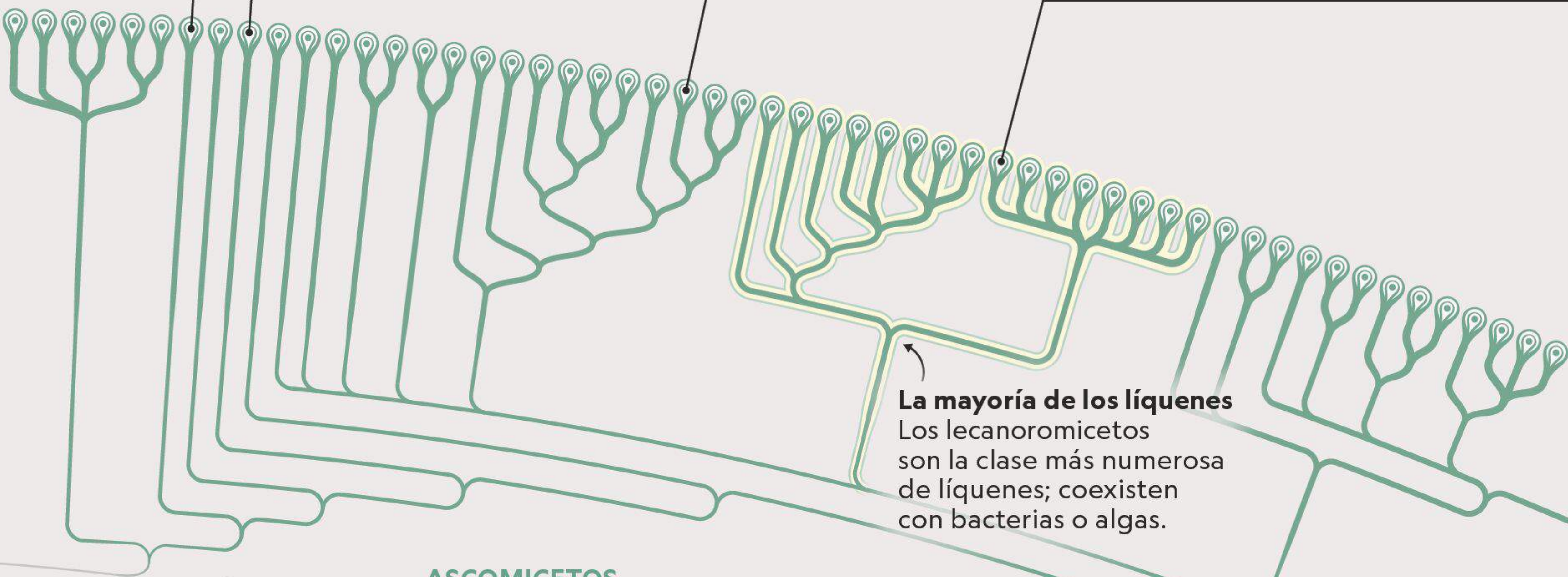
Saccharomyces cerevisiae es una levadura que se utiliza para generar fermentación, desde leudar el pan hasta elaborar cerveza y vino.



Morchella esculenta, o morilla, es una seta comestible de gran valor culinario que se recolecta en entornos boscosos.



Penicillium es un género de mohos que descomponen la materia orgánica. Algunas especies pueden usarse para combatir infecciones bacterianas y otras dan sabor a los quesos.



La mayoría de los líquenes
Los lecanoromicetos son la clase más numerosa de líquenes; coexisten con bacterias o algas.

ASCOMICETOS

Estos hongos no producen esporas libres, sino dentro de una especie de sacos denominados ascas, y a menudo se reproducen asexualmente. Conocidos como lanzadores de esporas, dispersan su progenie con ayuda del viento y el agua.



Prototaxites, un hongo extinto, formaba grandes estructuras semejantes a troncos de hasta ocho metros de altura y 90 centímetros de anchura, lo que lo convertía en el mayor organismo terrestre de su época, hace unos 400 millones de años.

Parientes lejanos

Desde el punto de vista biológico, los hongos están más cerca de los animales que de las plantas. Ambos obtienen energía absorbiendo o consumiendo moléculas disueltas. Una diferencia clave: los animales digieren los alimentos en el interior del cuerpo, mientras que los hongos segregan enzimas para descomponerlos fuera.

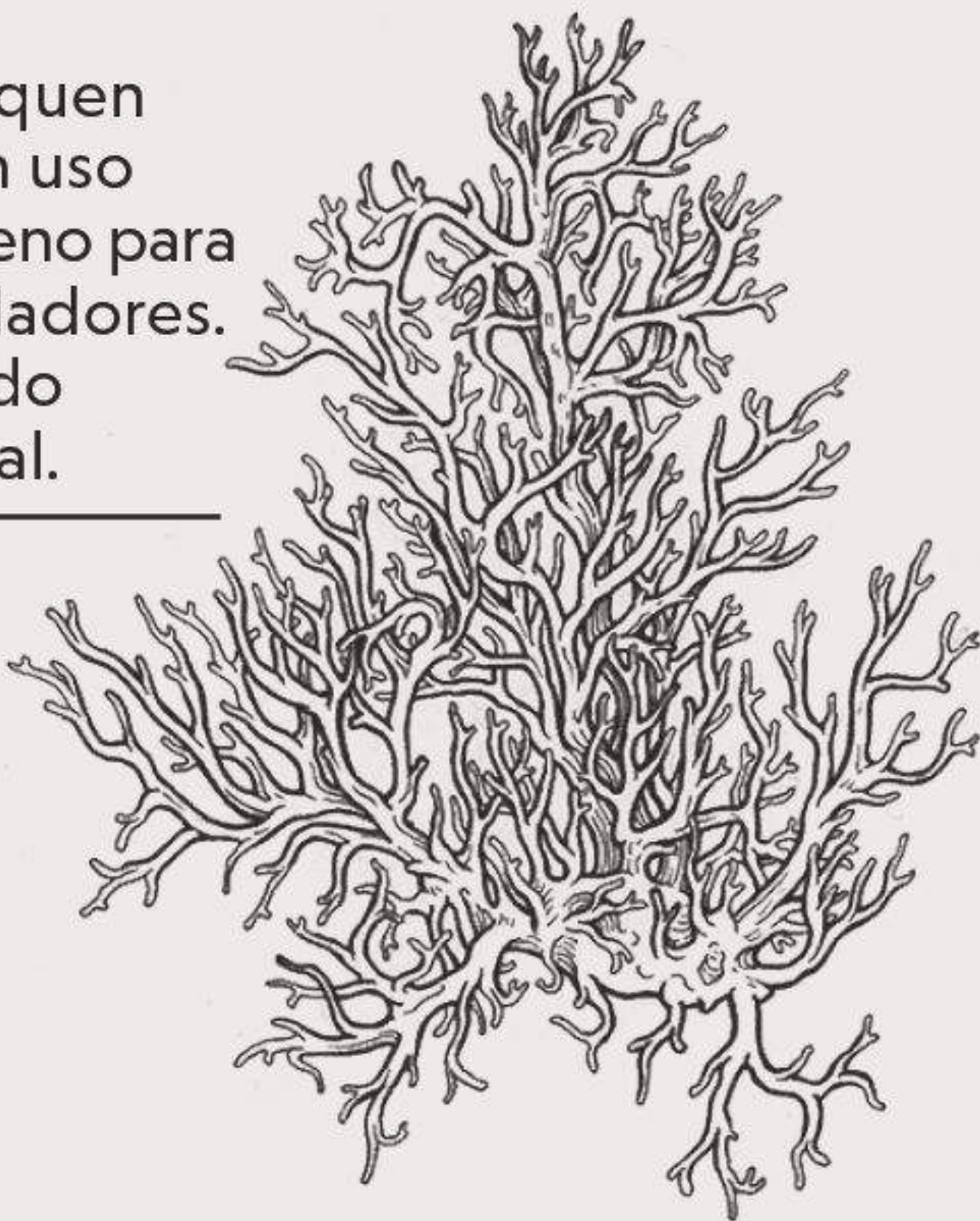


Relación evolutiva entre las plantas, los hongos y los animales

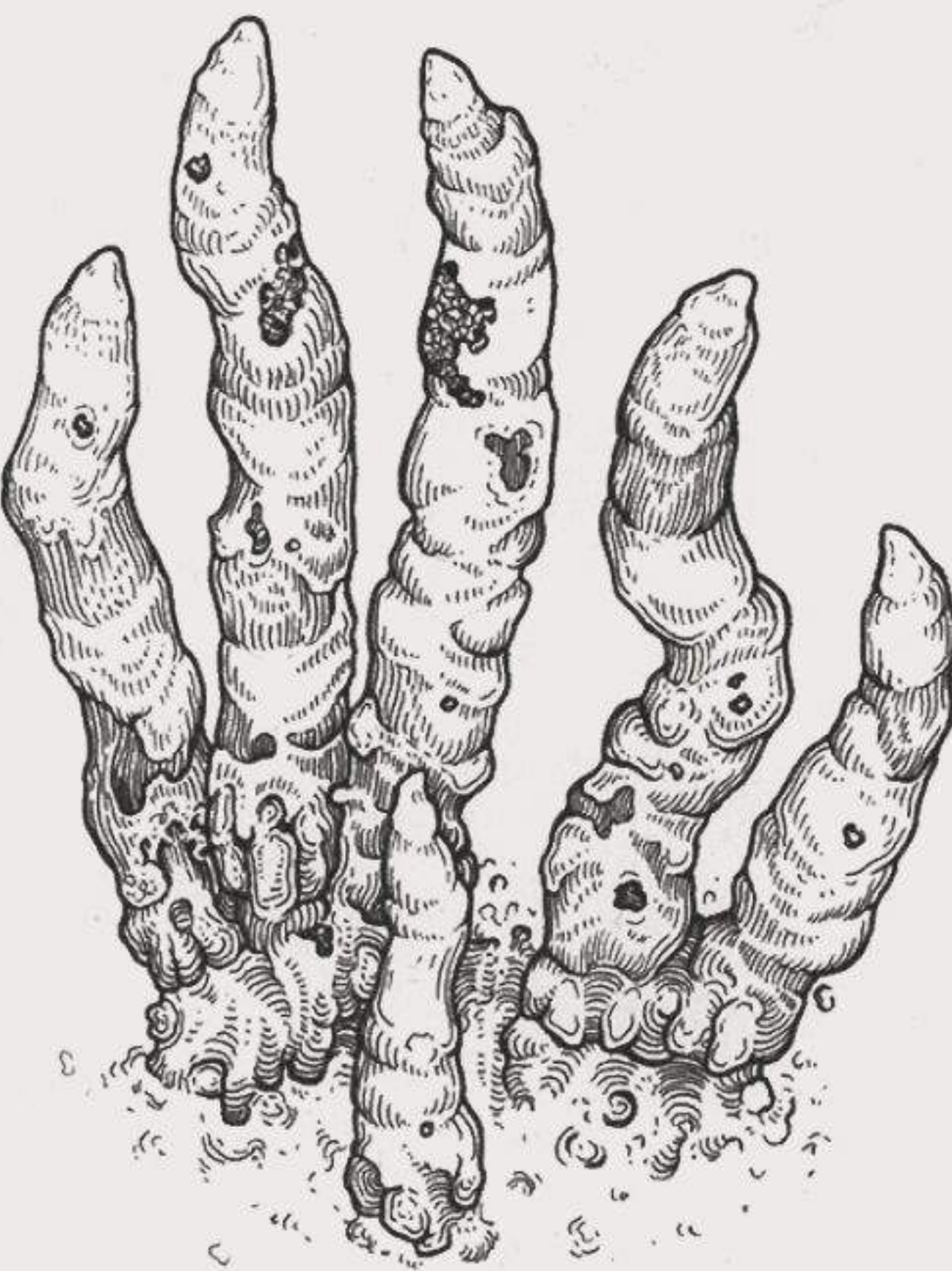
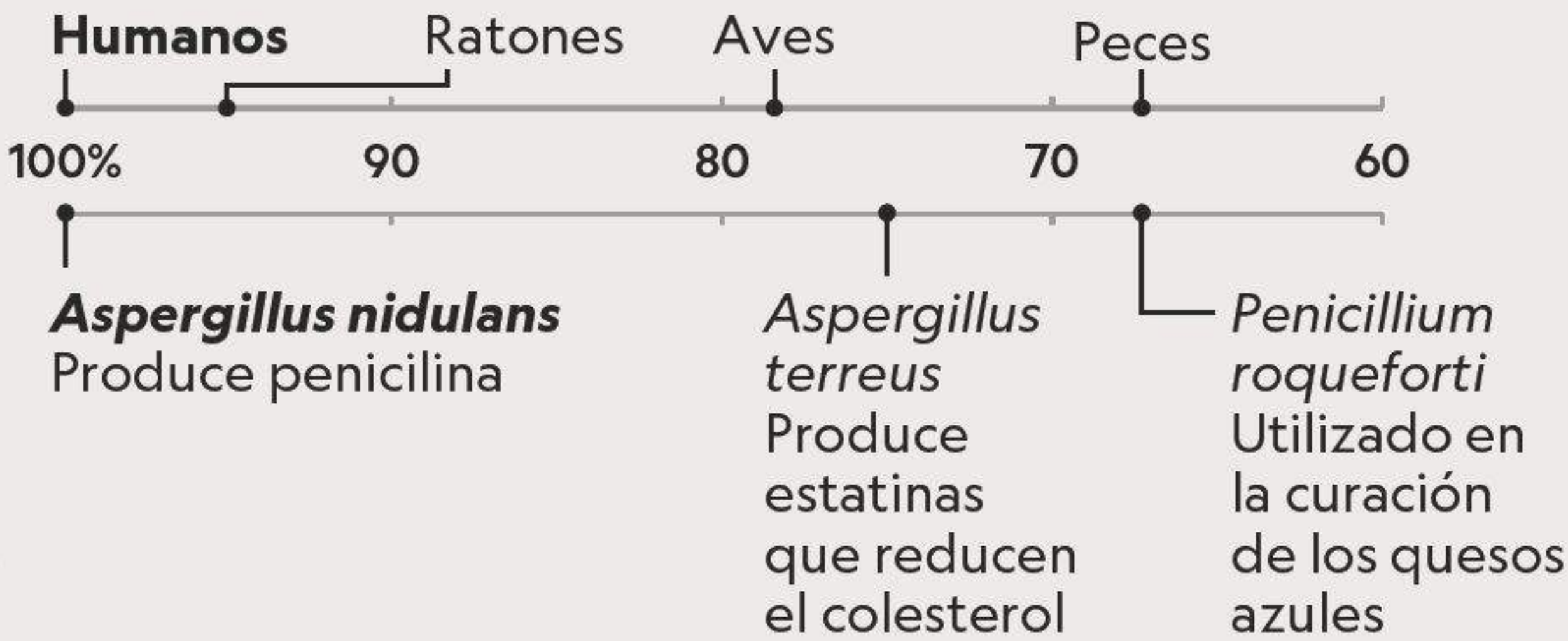
Diversidad genética

La variedad de hongos es extraordinaria. Baste un ejemplo: hay tanta diferencia genética entre el hongo de la penicilina y el hongo de los quesos azules como entre el ser humano y los peces. Esta puede ser una de las razones por las que cada año se clasifican unas 2.000 especies nuevas.

Letharia vulpina, el liquen de los lobos, tenía un uso tradicional como veneno para lobos y otros depredadores. Hoy se está analizando su potencial medicinal.



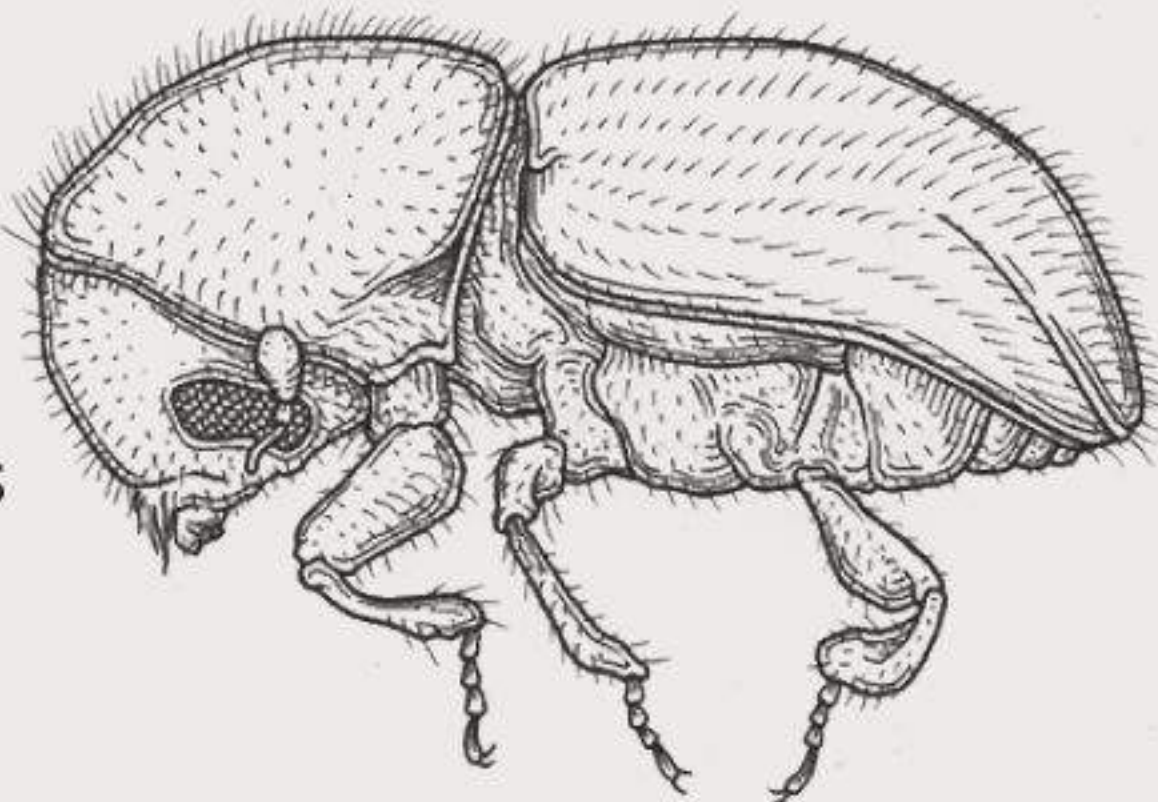
Divergencia genética entre especies indicadoras por similitud media entre proteínas



Xylaria polymorpha es un hongo que digiere la madera muerta. Su nombre común, dedos de muerto, alude al color y la forma de sus cuerpos fructíferos.

Chlorociboria da a la madera un color azul verdoso. Usado como tinte durante siglos, hoy se está explorando como tratamiento para la osteoporosis.

Ambrosiella roeperi forma una relación simbiótica con los gorgojos barrenillos: el hongo alimenta a estos escarabajos, y estos dispersan el hongo.



Cordyceps es un género de hongos parásitos que se utilizan en la medicina china desde hace dos milenios; muchas especies crecen sobre insectos y acaban matándolos.

Descomponedores de residuos
Muchos hongos de la clase de los sordariomicetos crecen en las heces de los animales. Su nombre deriva del latín sordes (suciedad).



PSILOCYBE CYANESCENS

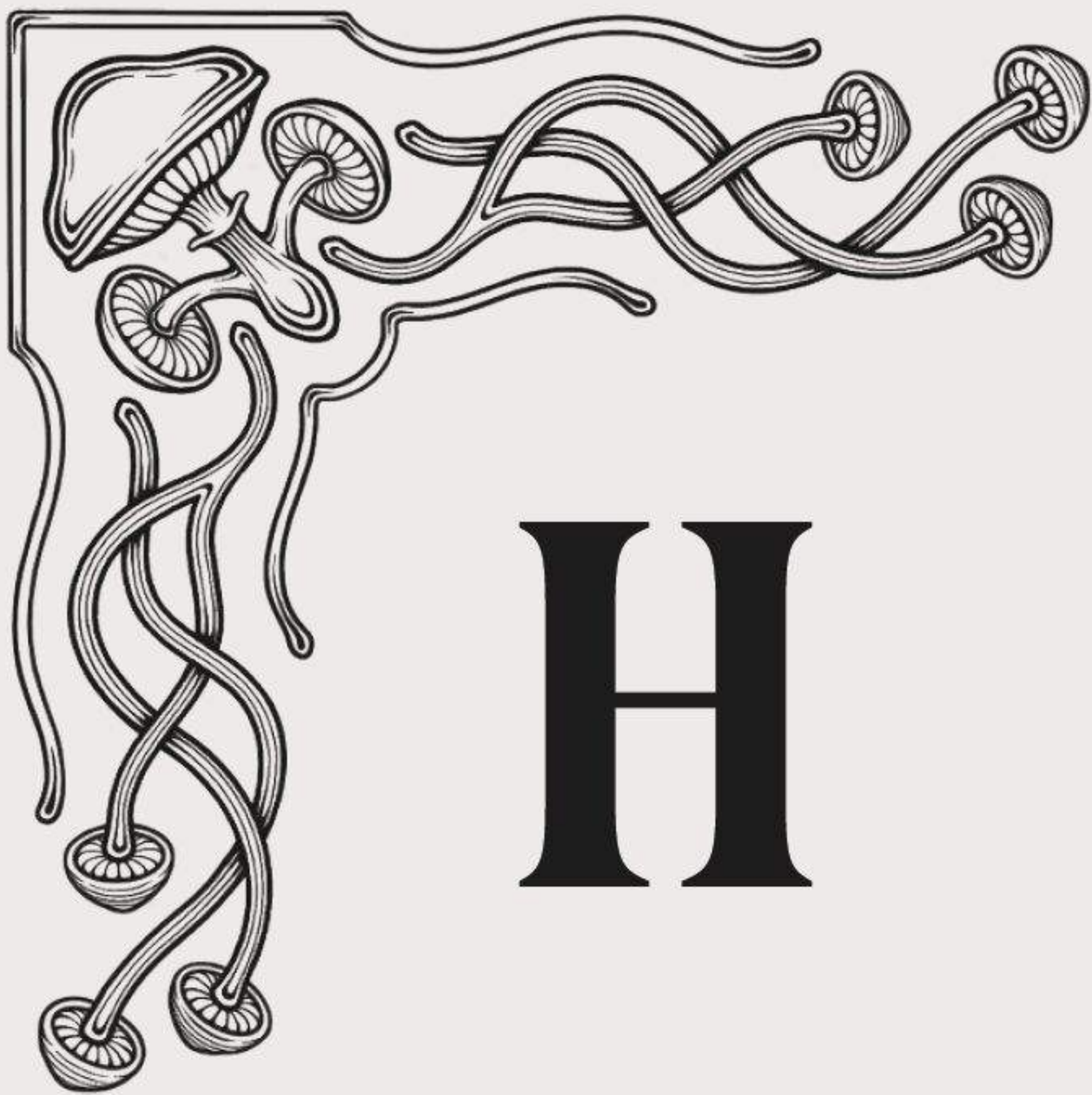
Fotografiados en un estudio, estos hongos entrelazados se cuentan entre las muchas especies alucinógenas que crecen en la costa occidental de América del Norte.

Capítulo
tres

Los hongos que llevamos dentro

¿ESCONDE EL
REINO FÚNGICO
LA CLAVE PARA
ACCEDER A
LA PRÓXIMA
OLEADA DE
AVANCES EN LA
INVESTIGACIÓN
DEL CÁNCER?

Texto de
LANGDON COOK



HACE DOS AÑOS, un equipo de investigadores médicos que observaba de cerca células cancerosas anunció el hallazgo de un vecino tan extraño como sorprendente: hongos. Pero aquellos hongos no solo vivían cerca de los tumores, sino que ofrecían pistas sobre el posible grado de letalidad de cada cáncer. Las levaduras del género *Candida* asociadas al cáncer de colon eran predictoras de metástasis, mientras que en el caso del cáncer gastrointestinal se correlacionaban con tasas de supervivencia bajas. Aún es demasiado pronto para saber si los hongos alimentan la enfermedad o si es la enfermedad la que de algún modo incuba los hongos. Pero estos descubrimientos sugieren, como mínimo, que tal vez exista una nueva forma de hacer diagnósticos precoces y afinar los pronósticos.

«Al principio nos quedamos atónitos», cuenta Iliyan Iliev, inmunólogo de la Facultad Weill de Medicina de la Universidad Cornell y uno de los investigadores que identificó la conexión entre los hongos y el cáncer. Además de *Candida*, su equipo halló otros géneros de hongos asociados a la enfermedad, como *Blastomyces* en el cáncer de pulmón y *Malassezia* en el de mama.

Parte de la sorpresa, al menos para muchos, podría responder a otro vínculo entre los hongos y nuestra salud. En todo el mundo se venden setas medicinales en distintas presentaciones, como tinturas, cápsulas, polvos e infusiones. Suponen un negocio de 25.000 millones de euros que posiblemente será el doble en 2030, en parte por esa asociación con la lucha contra el cáncer.

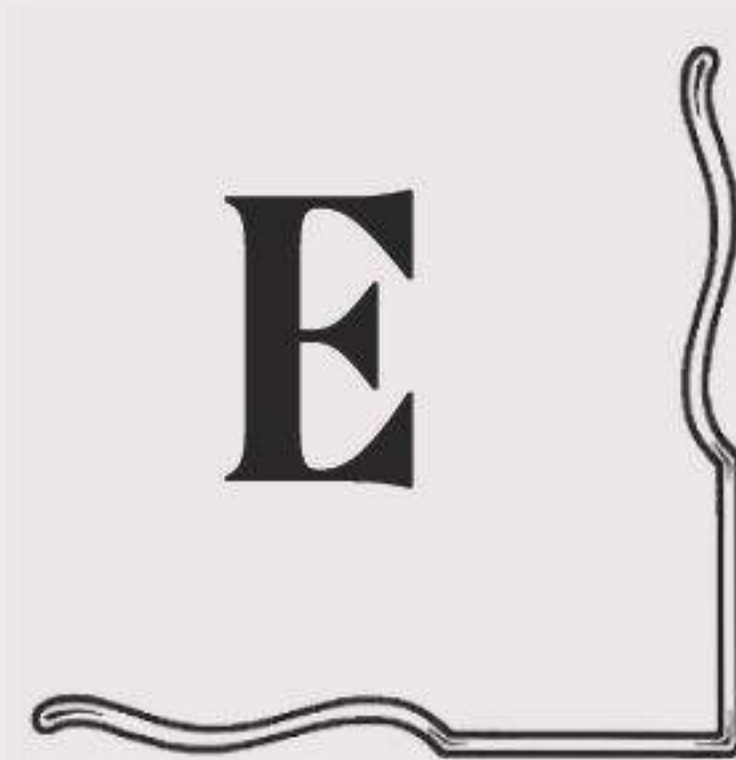
Sin embargo, la comprensión científica de los auténticos beneficios de los hongos medicinales

aún está en mantillas. En 2022, científicos de la India y de Bélgica publicaron un estudio exhaustivo de la bibliografía revisada por pares sobre el tema. Aunque al menos 32 especies parecían prometedoras, según el artículo, solo una decena se habían sometido a ensayos clínicos para averiguar sus potenciales propiedades terapéuticas.

«Las setas producen una amplia gama de sustancias químicas que no se hallan fácilmente en otros organismos», dice Walter Luyten, profesor emérito de la Universidad Católica de Lovaina y coautor del estudio. Algunos de estos compuestos derivados de forma natural interactúan con el sistema inmunitario, señala el artículo, «exhibiendo una potente actividad antitumoral», lo que significa que podrían ralentizar el crecimiento de ciertos cánceres o incluso impedir que se formen. Especies como el reishi (*Ganoderma lucidum*) y el maitake (*Grifola frondosa*) se han mostrado prometedoras en ensayos clínicos.

Aunque los hongos están claramente infraestudiados, Luyten y su equipo ven en ellos «uno de los mejores dones de la naturaleza para nuevos fármacos», si logramos comprenderlos mejor.

He aquí la paradoja de los hongos medicinales: constituyen un reino misterioso que puede ayudarnos... o perjudicarnos. Que lleguemos a comprender esta diferencia y a saber cómo aprovechar al máximo lo que estamos descubriendo depende de la exploración de un territorio ignoto más vasto, el llamado micobioma.



EL CUERPO HUMANO no es ajeno a los hongos. Las levaduras presentes en nuestro estómago que ayudan a regular la digestión son beneficiosas. La infección fúngica de la piel que causa el pie de atleta no lo

es tanto. Entre los billones de microbios que pueblan el interior o la superficie de nuestro cuerpo en un delicado equilibrio existen bacterias, virus y protozoos unicelulares. Todos forman parte de lo que se conoce como nuestro microbioma. Los hongos también están incluidos en ese universo, pero en los últimos años los expertos los denotan con una denominación

específica –microbioma–, al admitir que estos organismos funcionan de forma muy diferente.

Siew Ng, directora del Microbiota I-Center de la Universidad China de Hong Kong, dice que la comunidad fúngica de nuestro cuerpo constituye un «componente pequeño pero crucial» del microbioma gastrointestinal en particular. Pero aunque los hongos intestinales como *Candida*, *Saccharomyces* y *Cladosporium* son esenciales para nuestra salud, también se han relacionado con enfermedades. Las levaduras del género *Candida*, por ejemplo, pueden proliferar en exceso y causar una disbiosis, un trastorno asociado a muchos problemas de salud, como el cáncer colorrectal. Esto es, los hongos buenos pueden descontrolarse y convertirse en hongos malos.

Para Deepak Saxena, microbiólogo de la Universidad de Nueva York, la pregunta trascendental es sencilla: ¿por qué algunos hongos viven en los tumores? Su grupo de investigación fue el primero en identificar hongos en el cáncer de páncreas, al descubrir en 2019 que una levadura del género *Malassezia* puede migrar del intestino delgado al páncreas y vivir en las células cancerosas. Saxena plantea la hipótesis de que la presencia del hongo en el páncreas podría deberse a la inmunosupresión o a algún otro tipo de entorno alterado que los tumores contribuyen a crear. En experimentos de laboratorio con ratones, ha observado que la administración de antifúngicos detiene la progresión tumoral, aunque numerosas investigaciones han demostrado que lo que funciona en ratones no suele ser directamente extrapolable al ser humano.

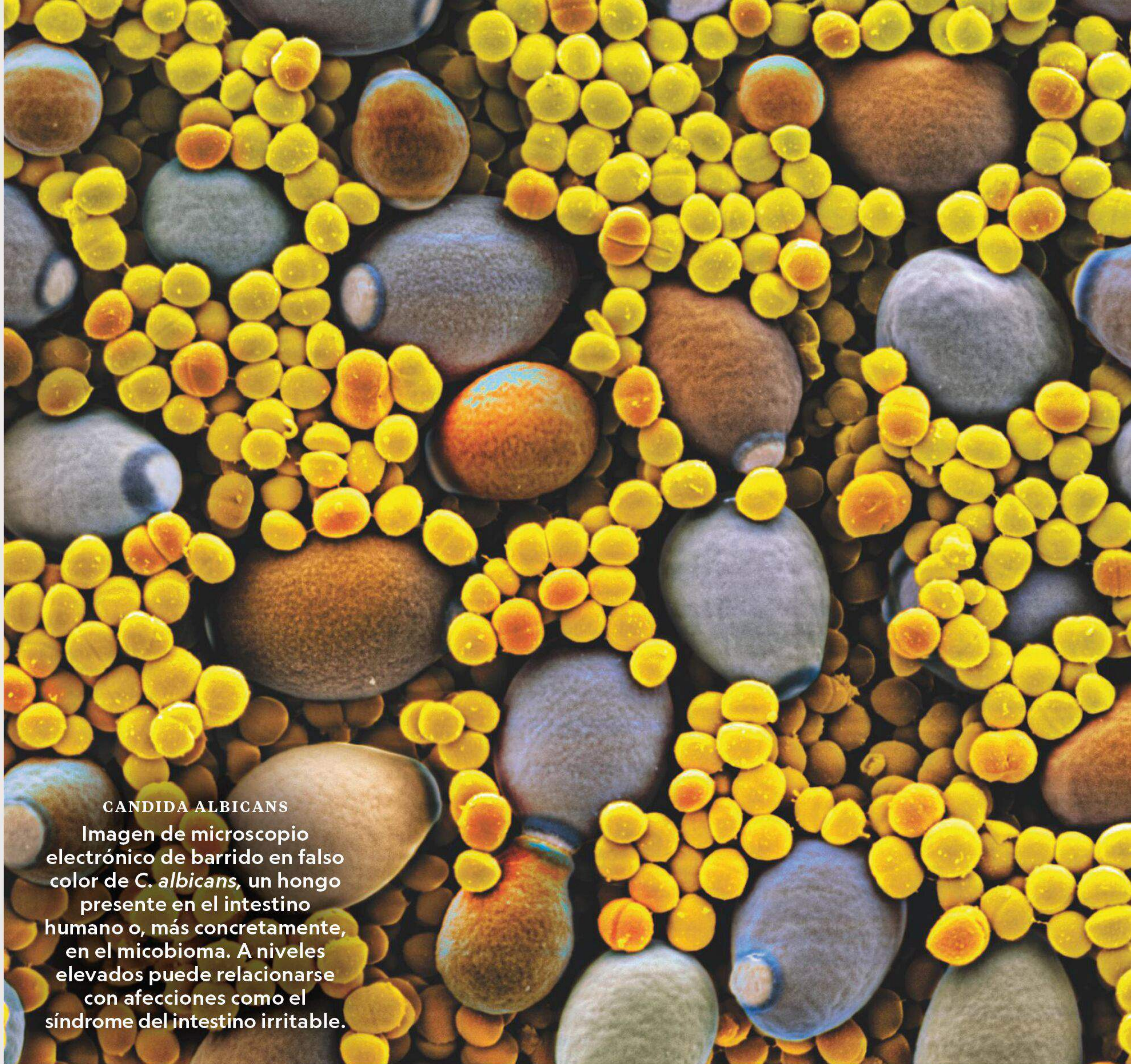
Para los micólogos tampoco es tan sencillo como tratar la afección X con el producto Y. Siew Ng afirma que algunos hongos tradicionales como el reishi y la cola de pavo (*Trametes versicolor*) tienen propiedades inmunopotenciadoras que han demostrado aumentar la eficacia de la quimioterapia. Numerosos estudios también indican que muchas especies de setas contienen compuestos anticancerígenos, como terpenos y carbohidratos bioactivos que estimulan el sistema inmunitario. Aun así existen dudas sobre qué dosis es la más eficaz y si alguna de ellas funcionaría como tratamiento independiente.

FOTO: MICHAEL CHRISTOPHER BROWN

La ciencia fúngica, simplificada



NIETA de un fitoterapeuta tradicional colegiado, Ophelia Chong empezó a cultivar hongos hace nueve años en Los Ángeles. Inyecta tejido de hongo vivo en un cultivo de agua mezclada con miel, dextrosa o extracto de malta. (El azúcar fomenta el crecimiento de los hongos). Después de varias semanas en un agitador magnético, la mezcla se traslada a una bolsa de cereales y luego a la tierra, donde acabará generando setas para uso medicinal y gastronómico personal.



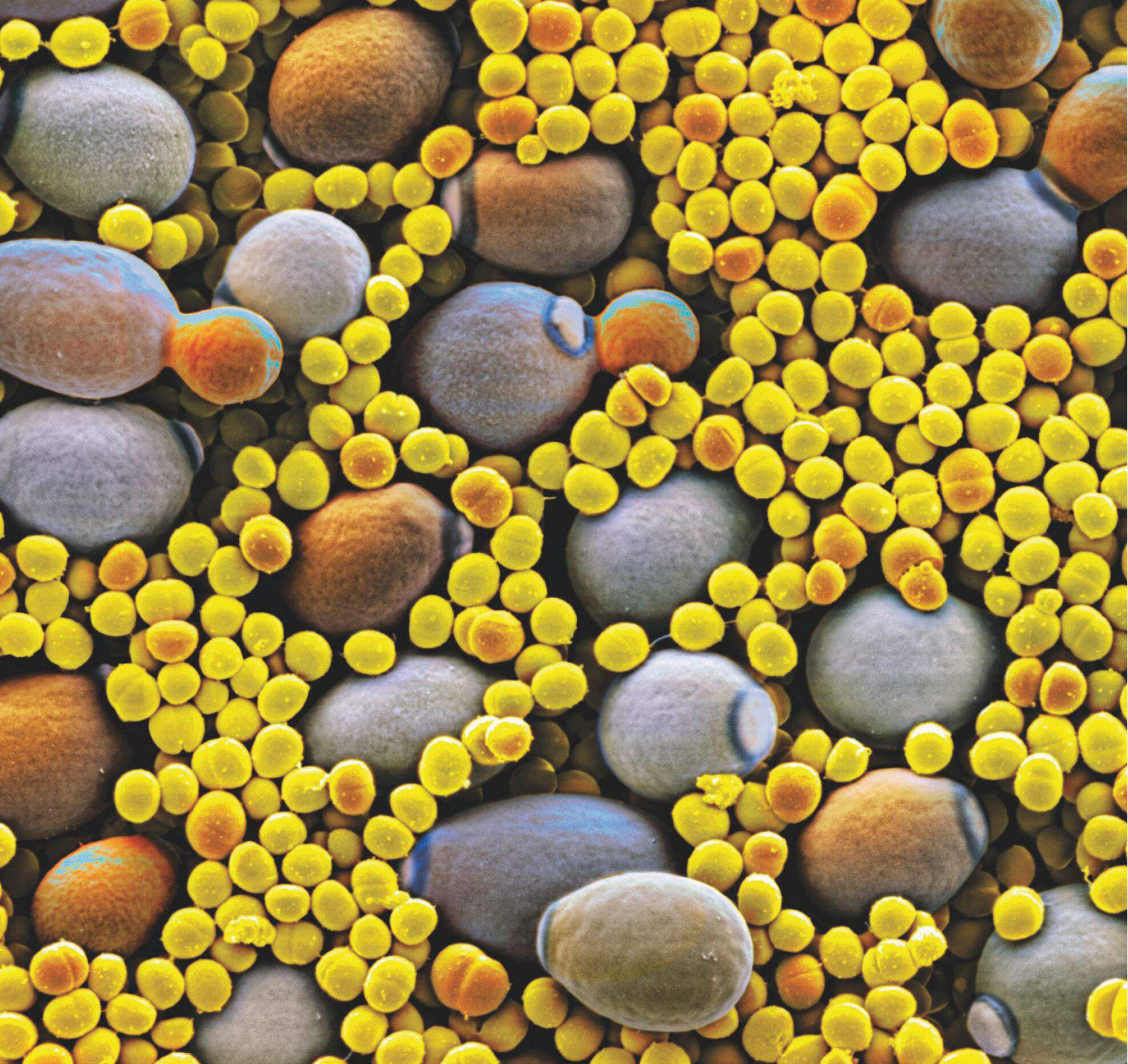
CANDIDA ALBICANS
Imagen de microscopio electrónico de barrido en falso color de *C. albicans*, un hongo presente en el intestino humano o, más concretamente, en el microbioma. A niveles elevados puede relacionarse con afecciones como el síndrome del intestino irritable.

Hoy no existe en el mercado ningún fármaco oncológico o inmunoestimulante a base de hongos aprobado por las autoridades. Quien desee probar un remedio fúngico debe proceder por su cuenta y riesgo. Y ese potencial desaprovechado es el acicate para explorar otros enfoques.

UN DÍA NUBLADO de octubre de 2023, cerca de Port Angeles, en el estado de Washington, Robert Rogers se adentró en una zona boscosa seguido de una decena de intrépidos buscadores de setas que se habían apuntado a su *tour* especial en el marco del Festival Anual de Hongos de la Península Olympic.

Señaló un hongo en forma de abanico que crecía en un tronco en descomposición. Sus franjas de tonos tierra recordaban al plumaje de un ave. «Así es la cola de pavo en su estado natural», dijo.

Rogers no es médico. Se autodenomina fitoterapeuta clínico y es el autor de una guía de setas y líquenes con supuestos beneficios para la salud. También es uno de los muchos aficionados que han recopilado estudios sobre la incorporación de los hongos a las rutinas diarias. La mayoría de las setas de consumo habitual, incluso el champiñón, contienen fitonutrientes beneficiosos para la salud. Si hablamos del cáncer, sin embargo, los hongos medicinales como la cola de pavo no son precisamente la panacea. «No matan las células cancerosas –explica–. Lo



que hacen es estimular el sistema inmunitario para que haga su trabajo».

Más concretamente, dice Ng, se ha demostrado que la cola de pavo aumenta la producción de citocinas, que coadyuvan a que la respuesta celular del organismo combata un tumor o patógeno extraño. Utilizada desde hace siglos como remedio tradicional, una sustancia química presente en esta seta acumula una cuarentena de ensayos clínicos hasta la fecha.

En cuanto a la conexión entre los hongos y las células cancerosas, Iliev reconoce que al principio le parecía «biológicamente improbable», pero en el ínterin ha evolucionado hacia un «cauto optimismo» sobre la posibilidad de desentrañar más misterios del micobioma. En otro estudio

reciente, investigadores de la Universidad de Nueva York descubrieron que existen 20 tipos de hongos que algún día podrían ser útiles para distinguir entre quien padece cáncer y quien no, lo que refuerza la idea de que un análisis precoz en busca de hongos podría allanar el camino hacia mejores diagnósticos y tratamientos.

Comparemos los potenciales avances de los hongos medicinales con la aparición de la penicilina. En la era moderna, uno de los grandes agentes a base de hongos que combate las infecciones se descubrió por casualidad hace casi un siglo, cuando un médico dejó que creciese moho en una placa de Petri impregnada de estafilococos. ¿Quién sabe qué otras conexiones podríamos descubrir ahora que hemos empezado a buscar?

GANODERMA SESSILE

Esta especie (el ejemplar de la foto es cultivado) puede encontrarse en el medio natural en el nordeste de Estados Unidos sobre robles, arces y hayas.



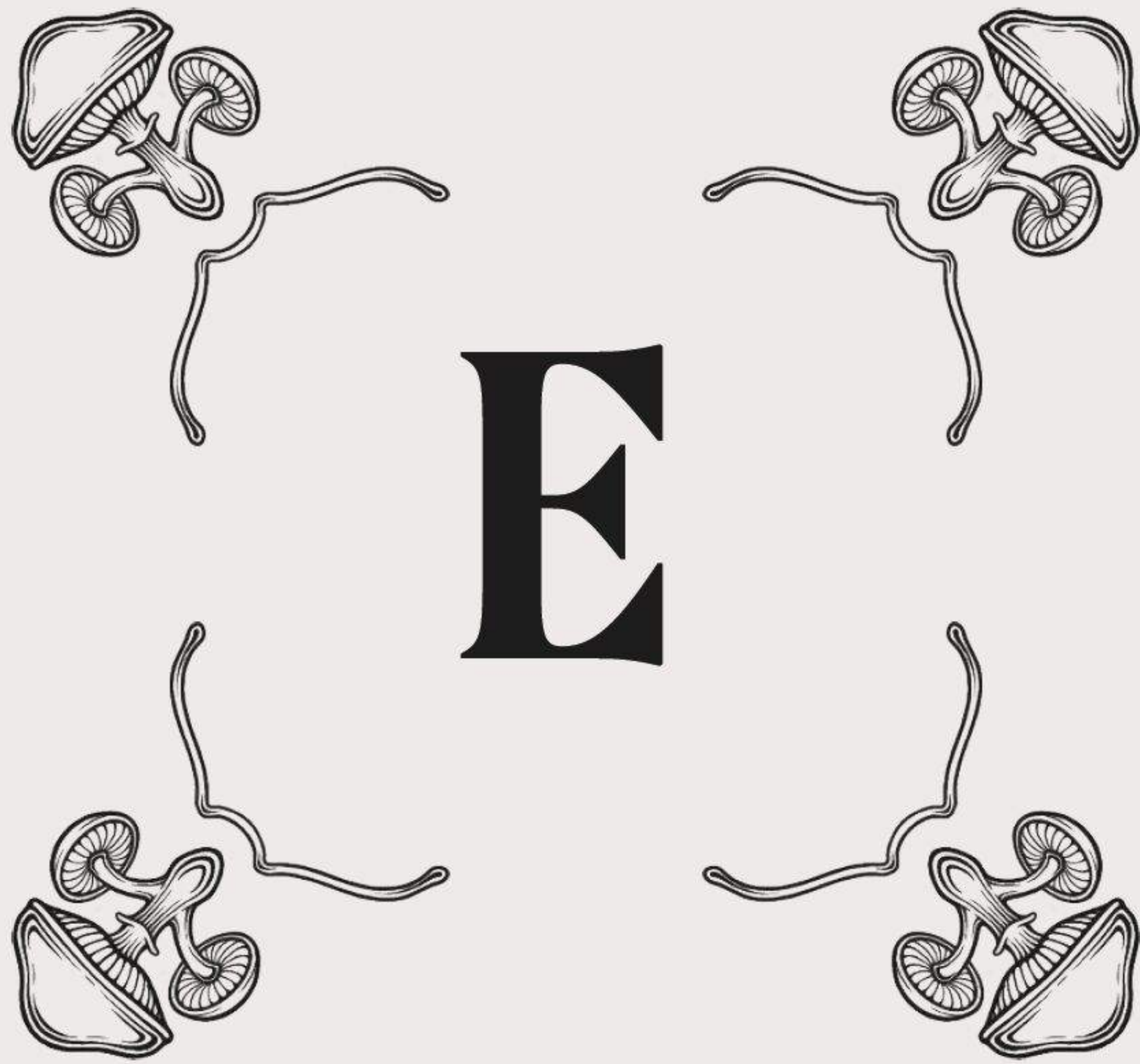
*Capítulo
cuatro*

Cultivar el futuro de la moda

ENTRAMOS EN
EL MUNDO DE LOS
MICOTEXTILES,
DONDE SE ESTÁ
GESTANDO UN
CAMBIO CULTURAL
ECOLÓGICO

Texto de
GIRI NATHAN

Fotografías de
PHYLLIS MA



EN RUMANÍA son cada vez menos los artesanos que practican un oficio que se considera centenario. Peinan los bosques en busca de hongos yesqueros (*Fomes fomentarius*), que crecen en los árboles y producen cuerpos fructíferos en forma de plataforma de unos pocos centímetros de ancho. Los arrancan de los troncos y, con una hoz, los cortan a lo largo en finas tiras de color canela. A continuación martillean y estiran esas tiras hasta transformarlas en unas láminas anchas parecidas al fieltro con las que confeccionan sombreros, bolsos, joyas y accesorios.

Son productos bellos y ecológicos, aunque la recolección de las setas y la posterior confección del artículo son laboriosas. Ya en 1903, los artesanos tlingit de Alaska fabricaban bolsas con un material resistente parecido a una estera. Según un estudio publicado en 2021 en la revista *Mycology*, aquellas «esteras» eran producto del agárico blanco, un resistente hongo poliporal endémico de los bosques primarios de la costa de Canadá y el norte de Estados Unidos. Pero también en este caso los artesanos recolectaban el material, no lo cultivaban para producirlo en masa.

Hoy, en el interior de una fábrica en Carolina del Sur, la empresa de biotecnología MycoWorks explora un enfoque pionero más deliberado. Bajo una tenue iluminación roja, pilas de bandejas metálicas están dispuestas en altas columnas. Unos grandes brazos mecánicos se mueven a su alrededor para extraerlas de una en una y que un reducido equipo de técnicos con trajes estériles y linternas pueda inspeccionar su contenido.

Cada bandeja está incubando micelio, una masa de finos filamentos que a grandes rasgos equivale al sistema de raíces de las plantas. El micelio es un portento estructural –blando, denso y fuerte al mismo tiempo–, lo que lo convierte en un prometedor sucedáneo del cuero. Lograr que crezca con morfologías predecibles puede ser una tarea compleja, pero los recientes avances en biotecnología han fomentado la aparición de una industria artesanal micotextil. Sus primeros pasos se antojan más éticos, ecosostenibles y eficientes que la industria multimillonaria de la piel animal. Y MycoWorks es solo un ejemplo de una auténtica oleada de innovadores convencidos de que comprender mejor el micelio puede redefinir los límites de la moda y el diseño.

HACE MÁS DE 30 AÑOS que el cofundador de MycoWorks, Phil Ross, experimenta con *Ganoderma*, un género de hongos cuyo crecimiento es similar al del hongo yesquero.

En su apartamento de San Francisco, este artista aprendió a manipular los hongos para darles diversas formas, y en 2009 construyó una «casa de té» hecha de ladrillos que se desmontaban e infusionaban.

Su primera idea fue producir materiales de construcción de base micológica, pero la consulta de un fabricante de calzado en 2015 los indujo a él y a Sophia Wang, cofundadora de MycoWorks, a centrarse de nuevo en la moda. El material que hoy producen se llama Reishi, el nombre común en japonés de *Ganoderma*. En los últimos años sus productos se han utilizado en bolsos de Hermès y cojines de Ligne Roset.

La operación, de tecnología sencilla y bajo consumo energético, empieza con residuos agrícolas como serrín y salvado, que se calientan para eliminar cualquier vida microbiana que pudiese competir con el hongo. Una vez esterilizado, el sustrato pasa a bandejas de distintos tamaños. Entonces *Ganoderma* se une a la fiesta, digiriendo e infiltrando la biomasa. En algunos casos se puede añadir tela a modo de andamiaje para que el micelio crezca a su alrededor, creando

un material compuesto. Finalmente, la hoja de micelio se separa del bloque de serrín y el crecimiento se detiene. A partir de ahí puede «curtirse» para obtener un material similar al cuero tradicional con el que fabricar un bolso o un sombrero.

Matt Scullin, director ejecutivo de MycoWorks, elogia la estructura de «espagueti húmedo» del micelio, compuesto por hifas que se enredan entre sí y se ramifican en patrones arborescentes dejando hueco entre las células. El resultado explica algunas de las propiedades más atractivas del Reishi. «Tiene un tacto ligeramente aterciopelado –dice–. Es flexible. Absorbe los aceites y el calor que emanan de los dedos al tocarlo».

AUNQUE EL MICELIO se puede cultivar en almacenes mecanizados, Aniela Hoitink, fundadora de la empresa holandesa Neffa, utiliza una técnica de cultivo líquido para crear bolsos, camisetas e incluso pantallas de lámparas. Hace poco demostraba el resultado de ese proceso patentado sosteniendo un pequeño bolso negro. Neffa usa tanques bio-reactores –semejantes a los de la fermentación

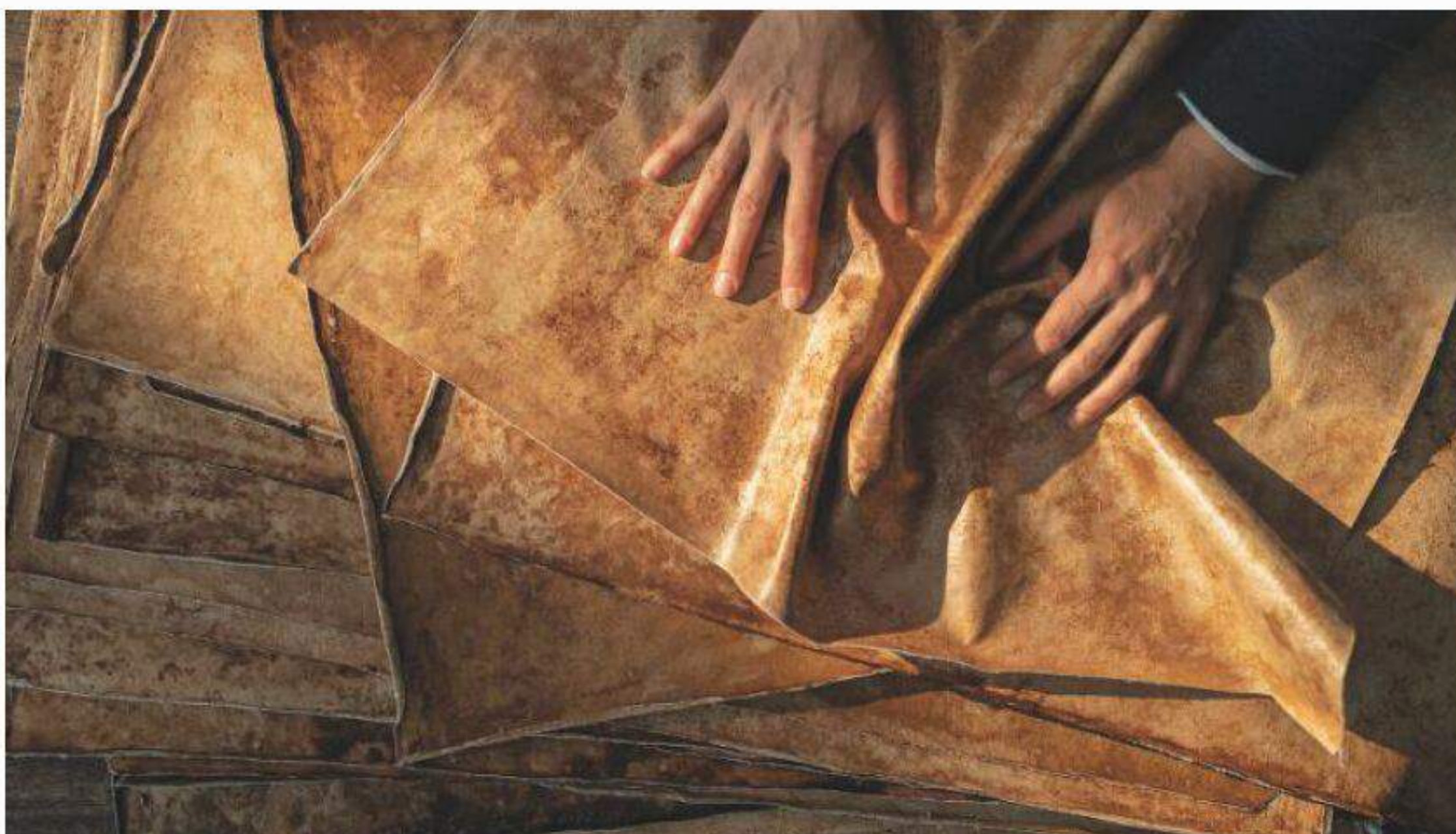
de las cerveceras– para elaborar una papilla de micelio que se separa del líquido por colado y se vierte en moldes para que se seque y adquiera la forma deseada.

«En realidad es posible diseñar a partir del producto, en lugar de hacerlo a partir del material –explica Hoitink, doblando y estirando el material negro brillante del bolso, a medio camino entre el plástico y el cuero, una textura que recuerda al regaliz negro–. Técnicamente, la parte inferior [del bolso] debe ser la más resistente. Así que podemos añadir un poco más de biomasa ahí para que sea más gruesa y resistente».

Este proceso básico dota a Neffa de versatilidad con una mano de obra mínima. Lo más importante, asegura Hoitink, es que el proceso de cultivo líquido permite experimentar libremente con nuevas ideas. «Como es una suspensión, resulta un poco más fácil añadir otros ingredientes», afirma. El siguiente paso de la empresa podría ser infundir los materiales con aromas propios o incluso con sustancias dermatológicas para tratar enfermedades como la psoriasis.

Esta es solo una de las diferencias entre estos productos y el cuero tradicional. Ambas empresas también tienen en cuenta su huella ecológica

Trucos de la industria del cuero fúngico



CULTIVADA A PARTIR DE UNA CEPA de *Ganoderma*, la alternativa al cuero patentada por MycoWorks se obtiene estimulando la propagación de las hifas del micelio del hongo, dice el CEO Matt Scullin. En la naturaleza el micelio se reproduce cuando llega al final de su fuente de alimento. Jugando con la temperatura, la luz y la humedad, MycoWorks manipula el crecimiento del micelio para dar con la forma, el tamaño y la textura deseados.



y el ciclo de vida completo de sus artículos. El Reishi de MycoWorks, por ejemplo, es totalmente biodegradable, lo que permite vislumbrar un futuro en el que deshacerse de un par de zapatos viejos signifique simplemente compostarlos.

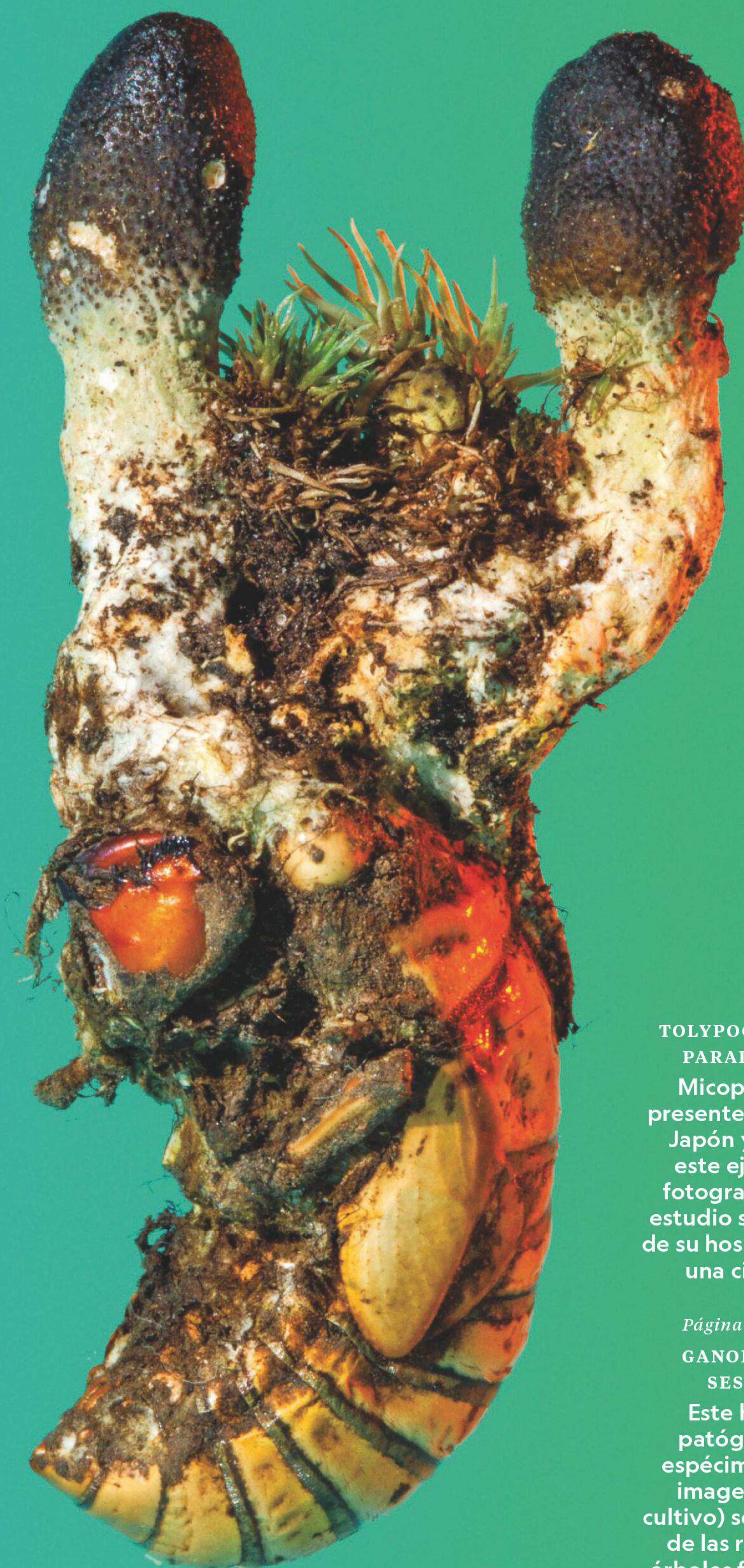
MIENTRAS LAS EMPRESAS más grandes confían en utilizar los hongos para generar a gran escala materiales completamente nuevos y respetuosos con el medio ambiente, los diseñadores independientes exploran su potencial para modificar o descomponer los montones de tejidos desechados que ya existen en el planeta.

Helena Elston, diseñadora afincada en Nueva York, ideó una respuesta ética a los residuos que genera su sector mientras estudiaba moda en Londres. Hoy encuentra una prenda vieja –o la crea cosiendo telas de desecho–, la esteriliza y le añade un aplique de micelio. A lo largo de los meses siguientes observa cómo este se abre camino a través del material. A veces el micelio devora las fibras naturales e ignora las sintéticas.

Otras arremolina el tinte en torbellinos de sorprendentes colores nuevos. En experimentos anteriores, Elston permitía que el micelio descompusiese por completo el material existente. «Da la sensación de tener una comprensión intelectual de la que nosotros, los humanos, carecemos –dice–. Las piezas más bellas son el resultado de no haberlo controlado».

Maggie Paxton, una micófila neoyorquina que busca nuevos pigmentos, colorea batas de seda con tintes fúngicos para la marca de moda americana Coach. Hace poco cogió bolas de tierra –unos hongos del género *Scleroderma* que parecen viejas pelotas de golf– y las hirvió en una olla. Se sorprendió al descubrir que aquel tinte aportaba a la seda «un rosa pálido precioso», un tono que podría inspirar una futura colección.

Muchos diseñadores todavía parecen tan sorprendidos por el comportamiento de los hongos que hablan de ellos como si estuviesen colaborando con una vibrante inteligencia extraterrestre. «Es el entusiasmo que se respira en este campo –dice Paxton–. No tenemos ni idea de qué magia obra ante nuestros propios ojos». El objetivo es seguir averiguándolo. □



**TOLYPOCLADIUM
PARADOXUM**
Micoparásito
presente en China,
Japón y Corea,
este ejemplar
fotografiado en
estudio se adueña
de su hospedadora:
una cigarra.

Página anterior
**GANODERMA
SESSILE**
Este hongo
patógeno (el
especimen de la
imagen es de
cultivo) se alimenta
de las raíces de
árboles frondosos
caducifolios.

RITMO GLOBAL

| EVENTOS |

MARCAS |

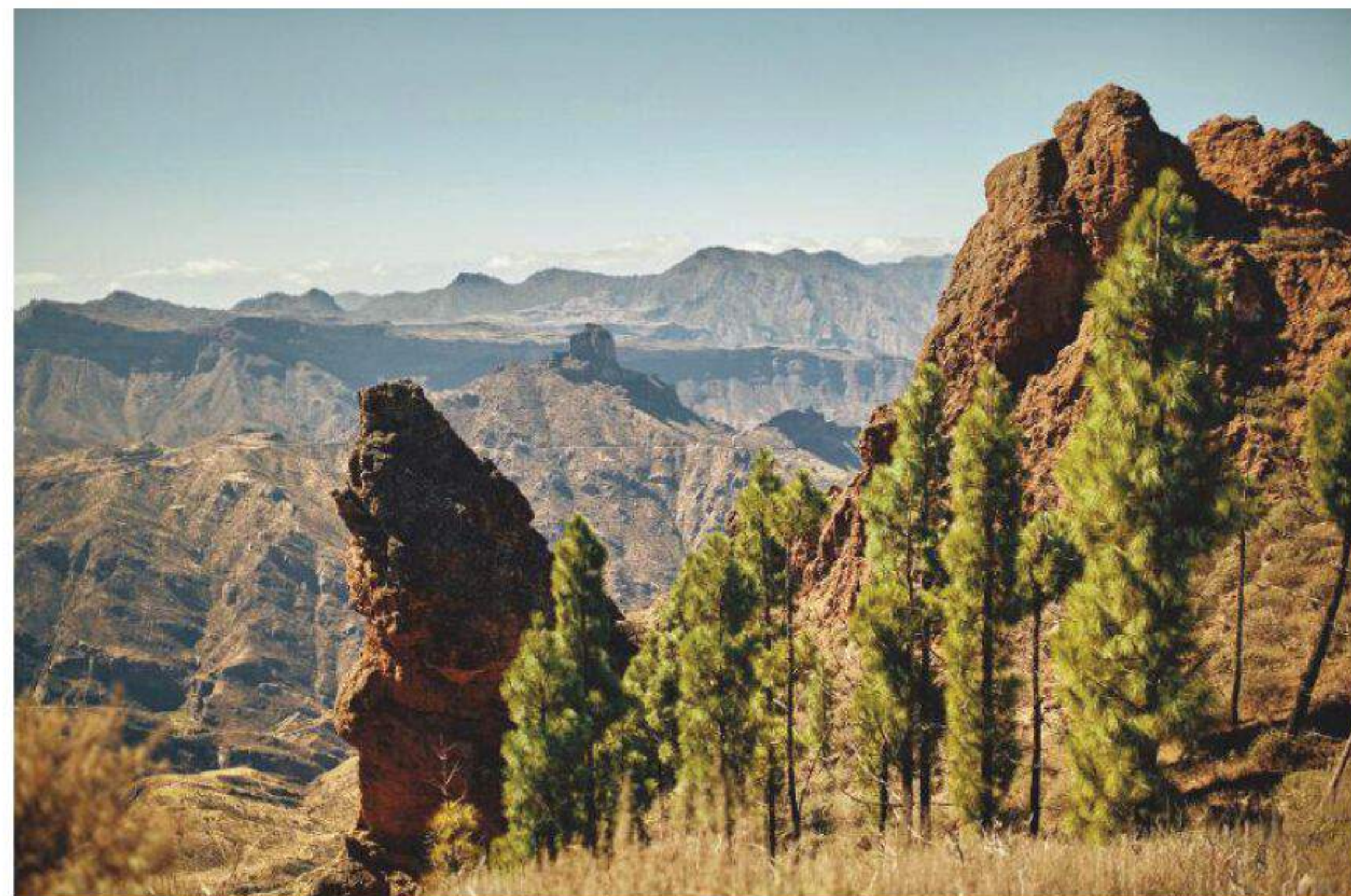
PUBLICIDAD |



MATCHA APOTEOSIC, MUCHO MÁS QUE UNA BEBIDA DE MODA

El matcha gana cada día más adeptos entre los amantes del té. Esta bebida, que en japonés significa té en polvo, está elaborada con hojas de la especie *Camelia sinensis*. Apoteosic presenta una nueva variedad ceremonial con alto contenido en cafeína elaborada a partir de *tencha*, el material obtenido al procesar hojas de la primera cosecha.

[APOTEOSIC.COM](https://apoteosic.com)



GRAN CANARIA WALKING FESTIVAL, SENDERISMO EN EL ARCHIPIÉLAGO

Debido a su extraordinaria diversidad climática y geográfica, Gran Canaria es un destino ideal para la práctica de deporte durante todo el año. La isla alberga 14 zonas con microclimas que ofrecen oportunidades únicas para actividades al aire libre. Una de ellas es el Gran Canaria Walking Festival, que este año celebra su decimotercera edición.

[GRANCANARIAWALKINGFESTIVAL.COM](https://grancanariawalkingfestival.com)



NUEVO LONGINES SPIRIT ZULU TIME FABRICADO EN TITANIO

Longines Spirit Zulu debe su nombre al primer reloj de pulsera con doble huso horario fabricado en 1925, en cuya esfera aparecía la bandera zulú en referencia a la llamada «hora zulú», como se designa la hora del meridiano de Greenwich en navegación aérea. Ahora Longines relanza el modelo clásico de 39 mm con una versión fabricada en titanio.

[LONGINES.COM](https://longines.com)



OMEGA COMPLETA SU CRONOMETRAJE OLÍMPICO

OMEGA ha estado presente en los Juegos Olímpicos por trigesimoprimer vez. Respaldado por más de 90 años de experiencia en la competición, el equipo de cronometraje de la compañía ha medido todos los resultados de las pruebas oficiales, entre ellos, los 132 récords olímpicos y las 38 marcas cosechadas este año en la edición parisina.

[OMEGAWATCHES.COM](https://omegawatches.com)



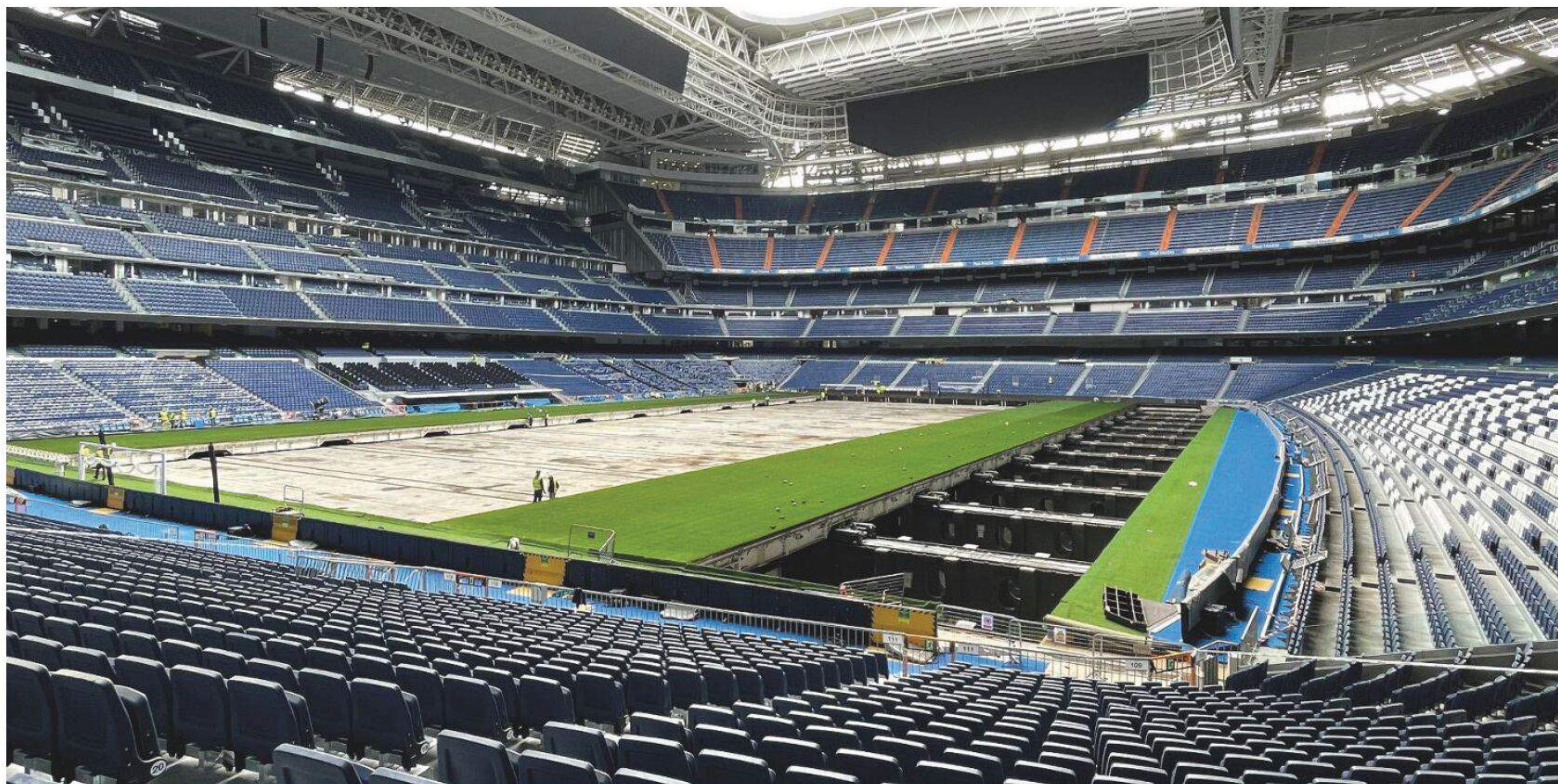
DEFENDIENDO -EUROPA-



ESTRENO

MARTES 15 DE OCTUBRE 22.50

EN TELEVISIÓN



SUPERESTRUCTURAS: SANTIAGO BERNABÉU

ESTRENO MIÉRCOLES 23 DE OCTUBRE
A LAS 22:50 HORAS

El estadio del Real Madrid protagoniza la nueva temporada de *Superestructuras*, la serie de National Geographic dedicada a las construcciones más espectaculares del mundo. El renovado coliseo madridista lucirá una fachada metálica, un techo retráctil y un videomarcador de 360°, así como un anillo logístico subterráneo. Será el primero en ocultar bajo tierra parte del terreno de juego para convertirlo en un espacio multifuncional. Un ejemplo de ingeniería que desafía los límites de la innovación.



EL INCREÍBLE DR. POL 24

ESTRENO LUNES 7 DE OCTUBRE
A LAS 21:40 HORAS

El veterinario más famoso de la televisión se despide de la audiencia en la última temporada de esta célebre serie de National Geographic Wild. Tras 13 años y 24 temporadas, *El increíble doctor Pol* emite sus últimos episodios con una programación especial que repasa algunos de los casos más importantes de los últimos años. En los nuevos capítulos, la llegada de un nuevo miembro al equipo ayudará a reducir la carga de trabajo en la clínica veterinaria de Michigan.



NATIONAL GEOGRAPHIC

Emite 24 horas al día en:
Movistar+ (Dial 70) **Vodafone**
(104) **Telecable** (52) **R Cable** (50)
Euskaltel (33) y **Orange** (30)



NATIONAL GEOGRAPHIC WILD

Emite 24 horas al día en:
Movistar+ (Dial 71) **Vodafone**
(105) **Telecable** (53) **R Cable** (55)
Euskaltel (37) y **Orange** (31)

BIBLIOTECA OSPREY

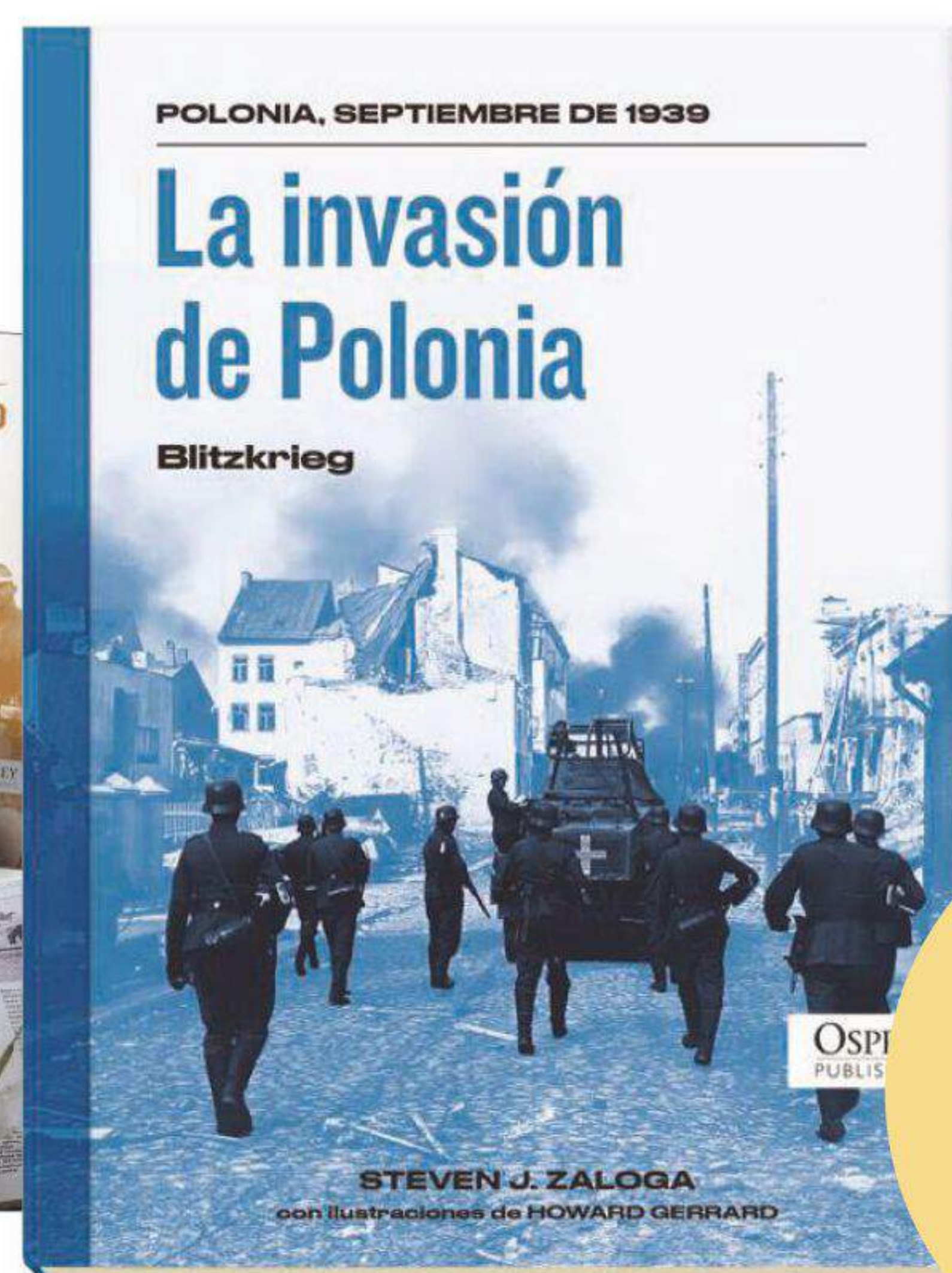
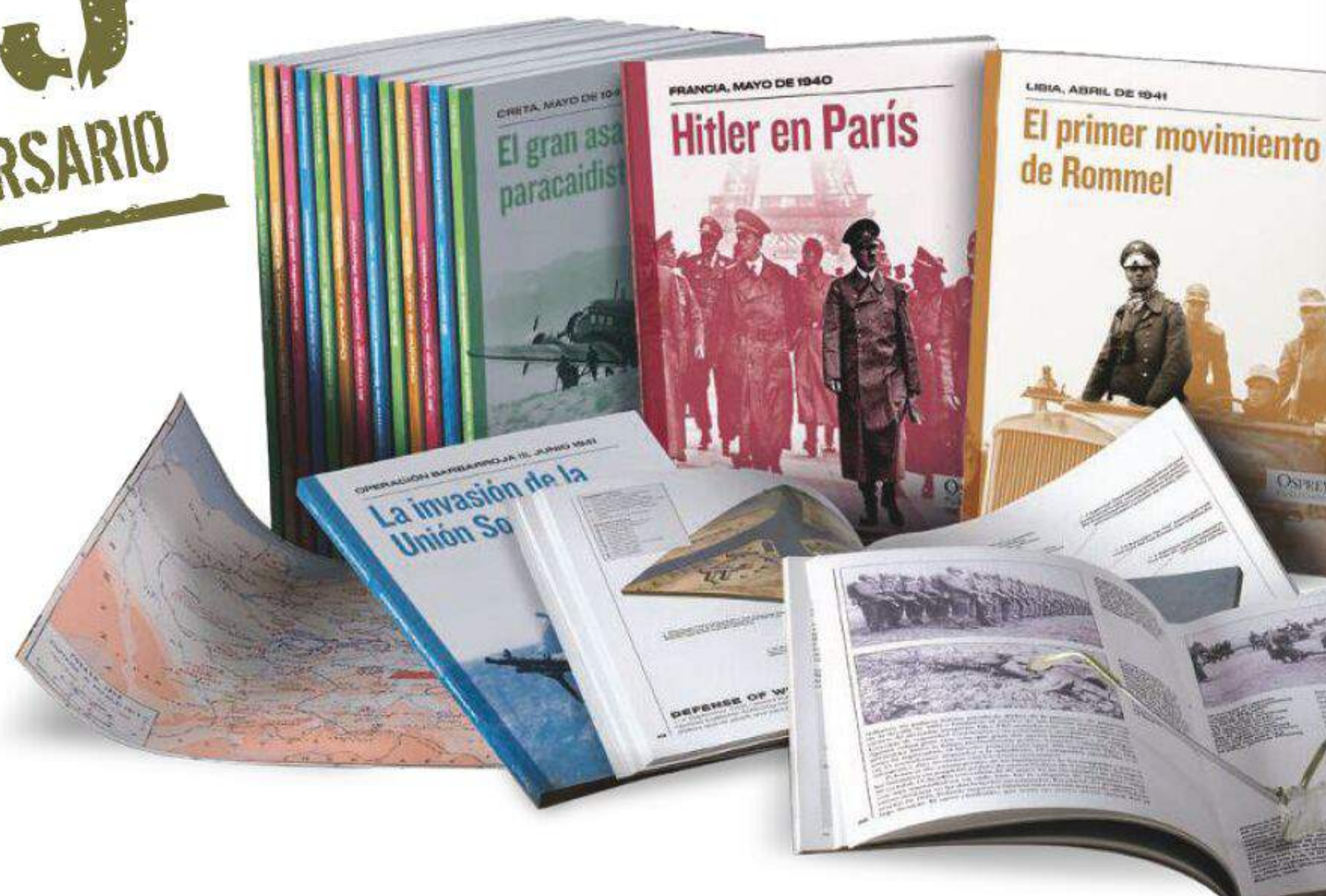
II GUERRA MUNDIAL

LA HISTORIA MÁS VIGENTE
QUE NUNCA

TODO SOBRE LA CONTIENDA BATALLA A BATALLA

Un apasionante recorrido cronológico para entender las lecciones del conflicto más trascendental de la historia

85^º
ANIVERSARIO



Primera entrega
**LA INVASIÓN
DE POLONIA**
por solo
2,99€

Fotografías de la época

Mapas y diagramas 3D

Ilustraciones con todo detalle



www.BibliotecaOspreyRBA.com

RBA

OSP
PUBLIS



PRÓXIMO NÚMERO | NOVIEMBRE 2024

**DOSSIER ESPECIAL:
AMAZONAS**

Nos embarcamos en una expedición a una de las cuencas fluviales más importantes del mundo en el marco de la Expedición al Amazonas de la iniciativa Perpetual Planet de Rolex y National Geographic. A lo largo de los próximos meses en la revista publicaremos una serie de artículos que abarcarán desde el nacimiento del río en los Andes hasta su desembocadura en el Atlántico.

**TESOROS BAJO
EL MAR**

En el fondo del mar yacen tesoros hundidos por tragedias marítimas, pero a veces el mayor tesoro no es el oro y la plata hallados en el pecio, sino la información que este proporciona.

**ARTE RUPESTRE
EN AMÉRICA**

Grabados y pintados en la roca o dibujados en el barro, el arte rupestre creado por los nativos americanos atesora la riqueza de los primeros pobladores de América del Norte.



179 kW 244 CV. 5,7-6,4l/100km.
CO₂ 129-145 g/km. (WLTP)



227 kW 309 CV. 1,0-1,1l/100km.
CO₂ 22-26 g/km. (WLTP)

SIENTE MÁS EN CADA MOMENTO

HÍBRIDO E HÍBRIDO ENCHUFABLE





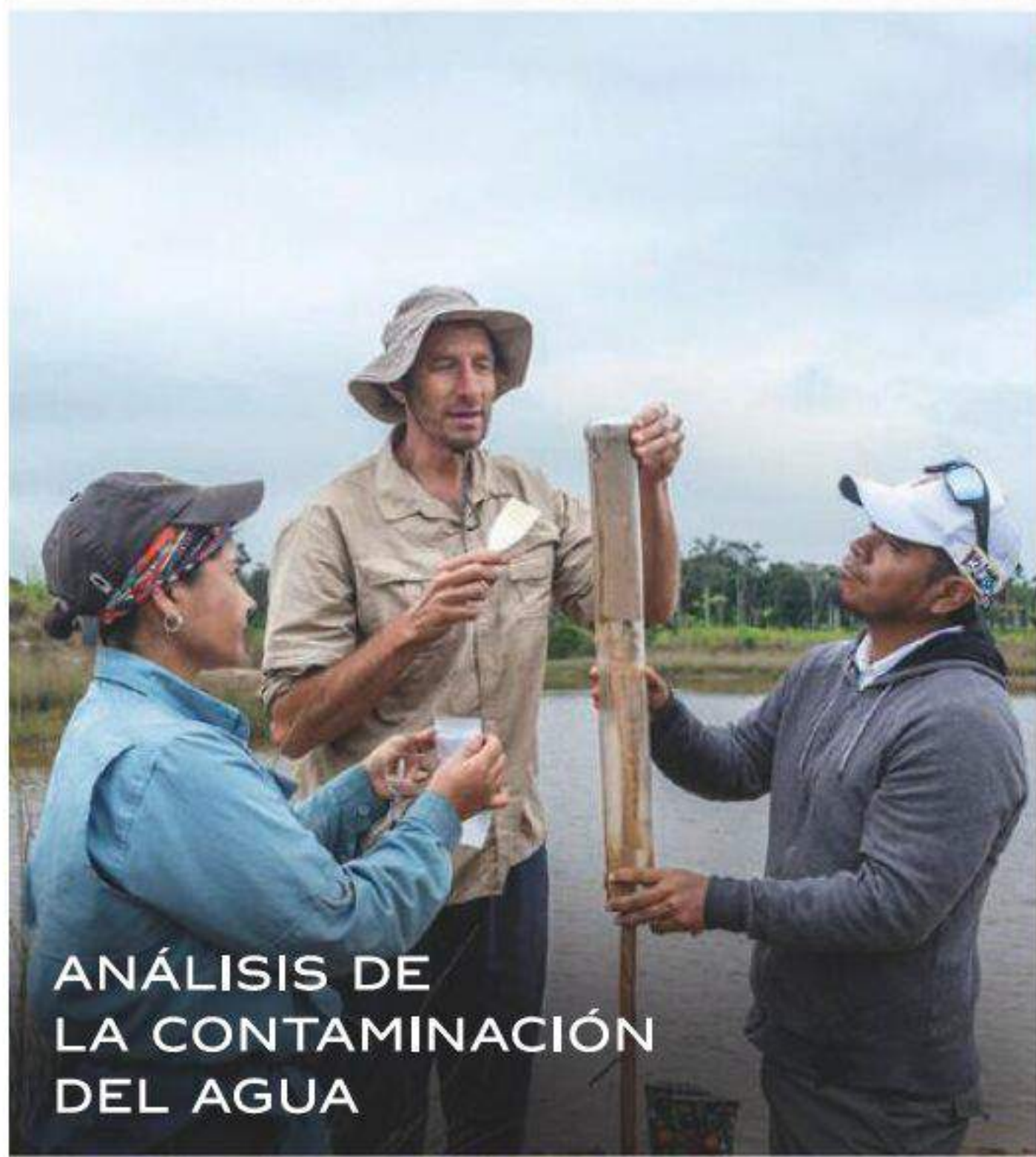
ESTUDIO DE LOS
MANGLARES AMAZÓNICOS



CREACIÓN DE MODELOS
DE INUNDACIONES



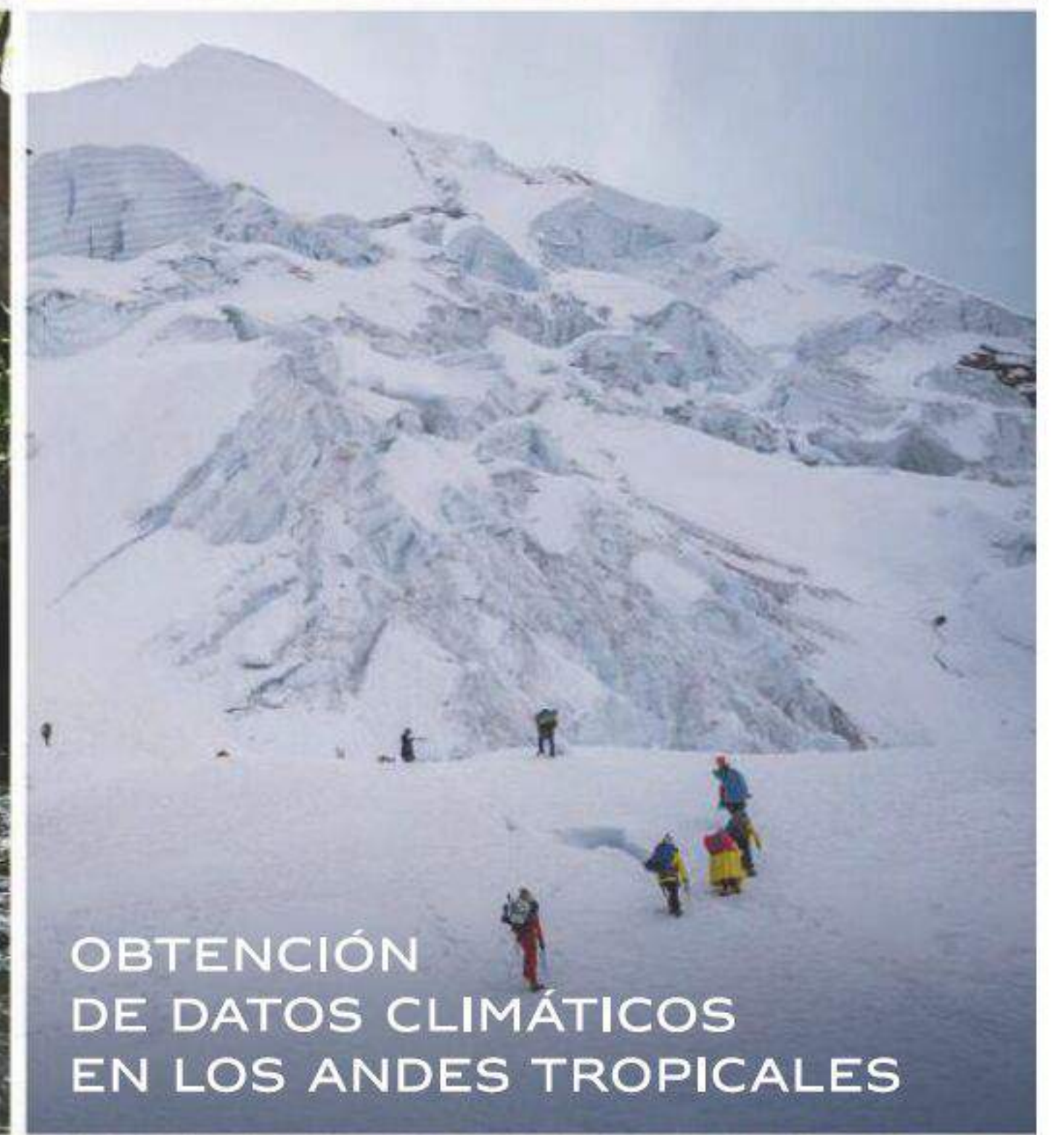
INVESTIGACIÓN
EN EL BOSQUE NUBOSO



ANÁLISIS DE
LA CONTAMINACIÓN
DEL AGUA



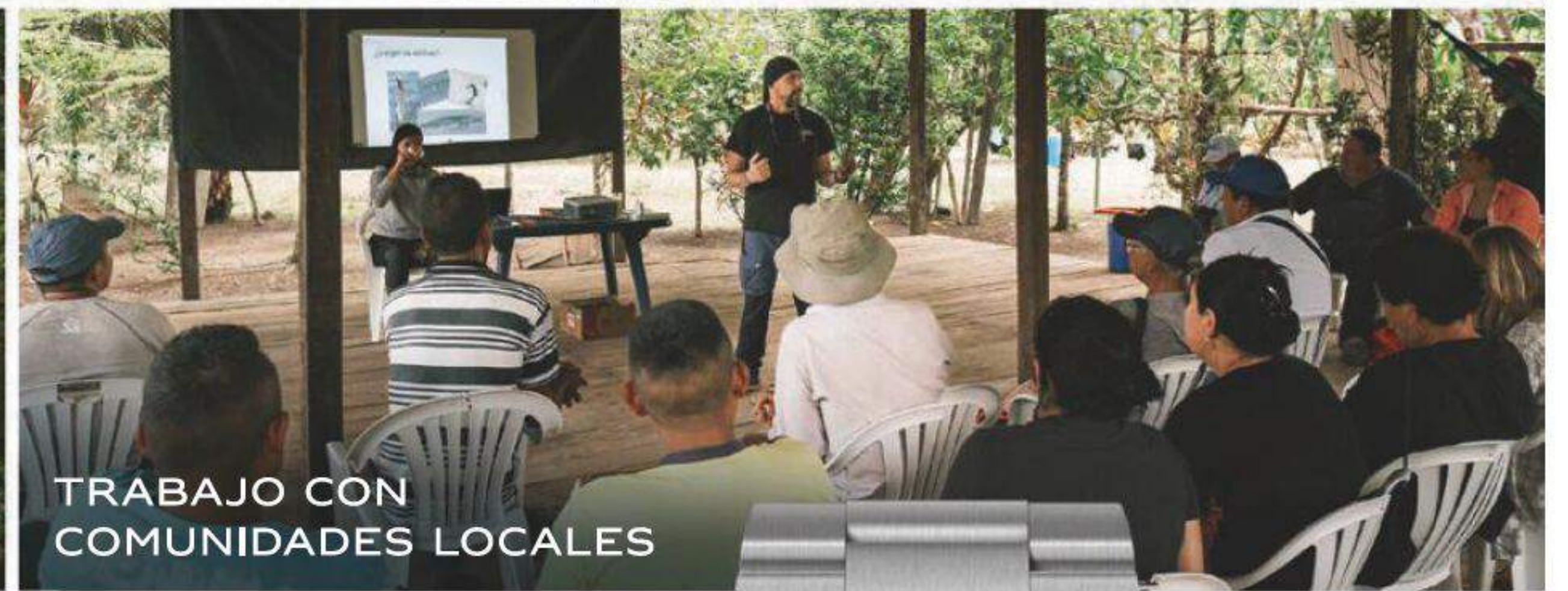
THOMAS PESCHAK, EXPLORADOR
Y FOTÓGRAFO DE NATIONAL GEOGRAPHIC



OBTENCIÓN
DE DATOS CLIMÁTICOS
EN LOS ANDES TROPICALES



DISEÑO DE UN MODELO
DE CONSERVACIÓN

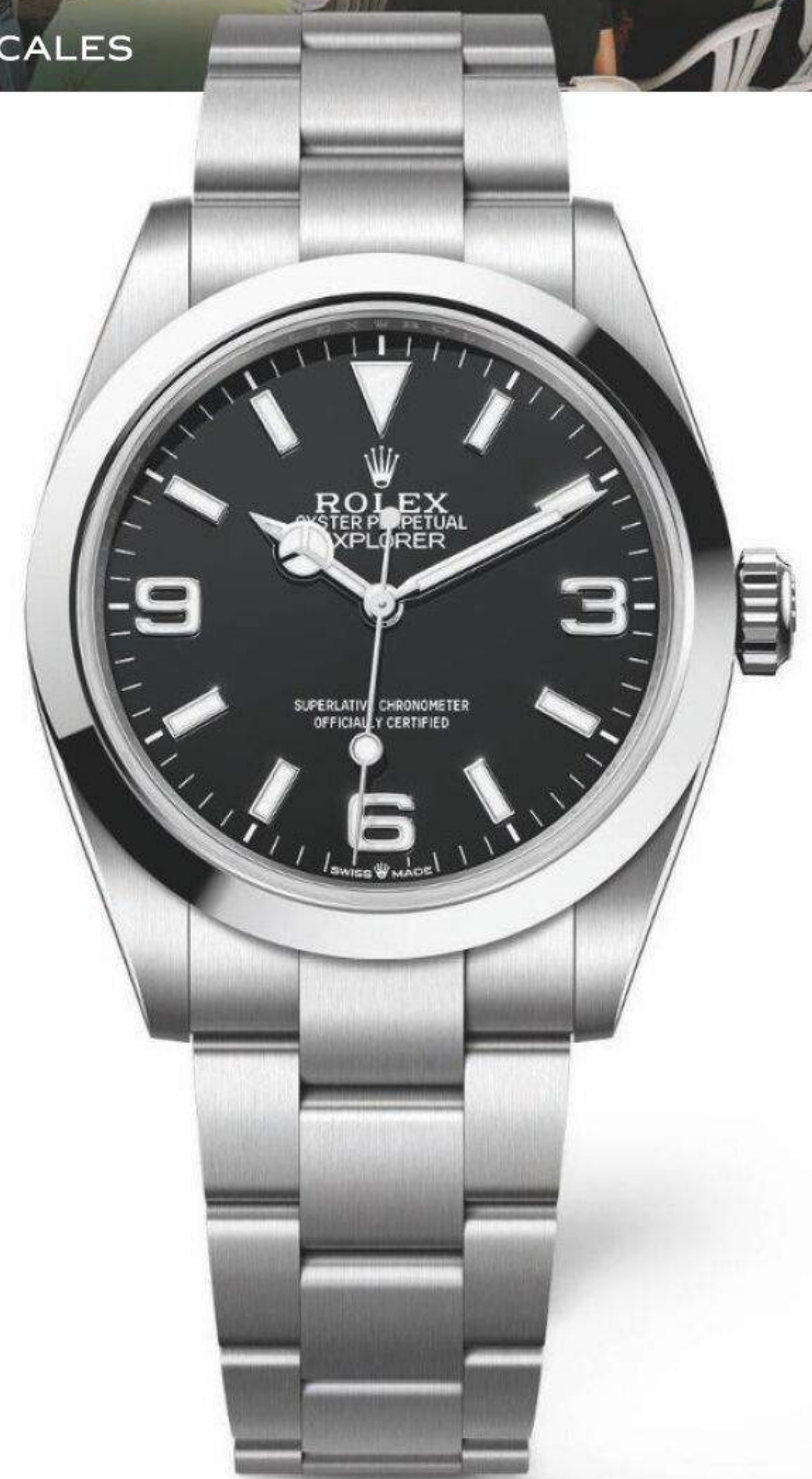


TRABAJO CON
COMUNIDADES LOCALES

LA NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY Y ROLEX: UNA ALIANZA PARA SALVAR LA AMAZONIA

La Amazonia influye de forma significativa en la regulación del clima mundial. Durante dos años, siete equipos de la National Geographic and Rolex Perpetual Planet Amazon Expedition han evaluado la salud de uno de los sistemas fluviales más importantes del mundo bajo la atenta mirada del fotógrafo Thomas Peschak, que ha documentado su labor. Esta investigación ayudará a tomar decisiones encaminadas a proteger y restaurar los valiosos ecosistemas de la cuenca amazónica.

#Perpetual



OYSTER PERPETUAL EXPLORER 40



COMMITTED TO A PERPETUAL PLANET